

Міністерство освіти і науки України  
 Національний технічний університет  
 «Дніпровська політехніка»  
 Інститут Електроенергетики  
 (інститут)  
 Електротехнічний  
 (факультет)  
 Кафедра систем електропостачання  
 (повна назва)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеню магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Дрозд Катерини Миколаївни  
 (ПІБ)  
 академічної групи 141М-18-13  
 (шифр)  
 спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА  
 (код і назва спеціальності)  
 спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_  
 за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_

(офіційна назва)

на тему «Дослідження зниження втрат електричної енергії в розподільчих мережах зі споживачами-регуляторами на базі електромобілів»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Луценко І.М.			
розділів:	Луценко І.М.			
	Тимошенко Л.В.			
<b>Рецензент</b>	Балахонцев О.В.			
<b>Нормоконтролер</b>	Олішевський Г.С.			

Дніпро  
2019

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(повна назва)

\_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеню магістра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

**Студенту Дрозд К.М.** академічної групи **141м-18-13**  
(прізвище та ініціали) (шифр)

**спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**  
**спеціалізації<sup>1</sup>**

**за освітньо-професійною програмою** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(офіційна назва)

**на тему «Дослідження зниження втрат електричної енергії в розподільчих мережах**  
**зі споживачами-регуляторами на базі електромобілів»**

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Аналітичний</i>	Аналіз причин виникнення втрат в розподільчих електричних мережах	15.10.19 – 01.11.19
<i>Дослідницький</i>	Проаналізувати режими роботи електричних міських ТП 6(20)/0,4 кВ. Обґрунтувати рішення щодо використання електромобілів у якості споживачів-регуляторів. Визначити потенціал впливу електромобілів на втрати електричної енергії в розподільчих електричних мережах.	01.11.19-30.11.19
<i>Економічний</i>	Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання електромобілів у якості активних споживачів-регуляторів з позицій зниження втрат та ефективності використання обладнання мереж.	01.12.19-10.12.19

**Завдання видано** \_\_\_\_\_ **Луценко І.М.**  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

**Дата видачі** 15.10.2019 р.

**Дата подання до екзаменаційної комісії** \_\_\_\_\_

**Прийнято до виконання** \_\_\_\_\_  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 стр., 18 табл., 16 рис., 10 джерел.

**Об'єкт дослідження** – процеси передачі та споживання електричної енергії в міських електричних мережах.

**Предмет дослідження** – параметри режимів роботи електричних мереж з електромобілями у якості споживачів-регуляторів.

**Мета дослідження** – обґрунтування ефективності використання електромобілів в міських електричних мережах у якості активних споживачів-регуляторів електричного навантаження з позицій зниження втрат та ефективності використання обладнання мереж.

У вступі подано мету дослідження, проблеми, на вирішення яких направлені заходи проекту, актуальність роботи та перспективи використання електромобілів у системах електропостачання.

У другому розділі виконано аналіз типових графіків електричних навантажень споживачів міських електричних мереж, виконано моделювання використання електромобілів у якості споживачів-регуляторів, наведено динаміку зміни втрат електричної енергії при загальному та регульованому ГЕН. Обґрунтовано можливість типорозмірної оптимізації трансформаторного електрообладнання електричних мереж з електромобілями у якості активних споживачів-регуляторів та компенсаторів навантаження.

В економічному розділі здійснено обґрунтування доцільності використання електромобілів в якості споживачів-регуляторів з позицій зниження втрат електричної енергії та підвищення ефективності використання номінальних параметрів електрообладнання мереж, доведено потенційну ефективність впровадження розроблених науково-технічних рішень.

СПОЖИВАЧ-РЕГУЛЯТОР, ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ГРАФІКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ТРАНСФОРМАТОРИ, ОПТИМІЗАЦІЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ	7
1.1 Проблеми функціонування розподільчих електричних мереж	7
1.2 Необхідність впровадження децентралізованих систем енергозабезпечення	11
1.3 Потенціал використання електромобілів у системах електропостачання України	15
1.4 Наукова задача дослідження	21
2 АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В МІСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У ЯКОСТІ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ НАВАНТАЖЕННЯ	22
2.1 Теоретичні засади визначення втрат електричної енергії в електричних мережах	22
2.2 Методи визначення втрат електричної енергії	25
2.3 Заходи зі зменшення втрат електричної енергії	29
2.4 Аналіз типових графіків електричних навантажень міських електричних мереж	32
2.5 Технічні характеристики типових електромобілів та зарядних станцій до них	34
2.6 Моделювання ефективних режимів роботи електромобілів у типових мережах	36
2.7 Дослідження динаміки зміни втрат електричної енергії при використанні електромобілів для вирівнювання ГЕН	43
Висновки по розділу	50
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ЕФЕКТИВНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	51
3.1 Визначення економічного потенціалу вирівнювання ГЕН з позицій зменшення витрати вугілля на ТЕС	51
3.2 Економічний ефект впливу показників ГЕН на доцільність типорозмірної оптимізації силових трансформаторів	55
3.3 Висновки по розділу	60
ВИСНОВКИ	61
Перелік посилань	63

## ВСТУП

Для будь-якої країни однією з найважливіших галузей національної економіки, що вимагає високих показників ефективності роботи, є електроенергетична сфера. Для електроенергетики України основною проблемою є низька ефективність, викликана експлуатацією морально і фізично застарілого обладнання, рівнем автоматизації процесів, що, в свою чергу призводить до підвищених питомих показників втрат електричної енергії, як технічних – через використання обладнання з високими питомими втратами, так і комерційних – через недосконалість систем облі електричної енергії та відповідні недообліки й розкрадання.

Щодо головних проблем функціонування електричних мереж, то для них саме характерні збільшені в порівнянні з розвиненими країнами рівні технологічних втрат електроенергії, викликані викладеними вище чинниками. Підвищення ефективності роботи електричних мереж України є пріоритетним напрямком діяльності, а розробка і впровадження відповідних заходів – актуальним завданням.

Втрати електричної енергії також залежать від показників режимів роботи електричних мереж та характеристиками споживачів, які отримують живлення та відповідно створюють графік електричних навантажень певного типу. Для ГЕН енергосистеми характерним є наявність ранкового та вечірнього піків навантаження тривалістю 6-8 годин. ГЕН є нерівномірним, а маневрена його частина покривається пилувугільними блоками теплових електростанцій, що призводить до збільшення питомих витрат палива на виробництво електричної енергії.

Знизити нерівномірність ГЕН можливо впорядкуванням ГЕН типових споживачів, наприклад комунально-побутових, споживання яких у загальному балансі досягає 30-40 % та продовжує зростати. Споживачі мають ставати регуляторами навантаження або просьюмерами, тобто у випадку наявності власних потенційних джерел «допомагати» енергосистемі покривати піки навантаження. Це можливо досягти шляхом використання

нових джерел, наприклад відновлюваної енергетики або потужних накопичувачів.

В Україні на даний час не розвинені накопичувальні технології та вони є досить дорогими для впровадження та використання у порівнянні з тарифом на електричну енергію. Проте, є необхідність задуматися над декарбонізацією енергетики та впроваджувати передові технології, що сприятимуть позитивним змінам в енергетиці, екології та сталому розвитку людства.

Новий тренд в енергетиці світу полягає у створенні децентралізованих джерел з системами акумуляції електричної енергії з урахуванням можливості ефективного задоволення попиту на електричну енергію у відповідності до поточного навантаження мережі та попиту на електричну енергію. В Україні таку технологію поки не впроваджують, а розташування станцій з відновлюваними джерелами не відповідає потребам регіонів, де вони встановлюються.

Ефективним заходом для вирівнювання графіка електричних навантажень енергосистеми може стати раціональне впровадження споживачів-регуляторів з урахуванням диференційованих по зонам доби тарифів та їх впливу на зміщення електроспоживання на нічну зону. В Європі та в Україні активно розвивається електричний побутовий та громадський транспорт, ефективне використання якого також може покращити економічну складову виробництва та розподілу електричної енергії за рахунок роботи в режимі активного споживача-регулятора навантаження за чітко визначеними шаблонами.

Тому доцільно дослідити та оцінити потенційний вплив електромобілів на режими роботи розподільчих мереж 6-10 кВ міст з позицій регулювання графіка споживання електричної енергії та підвищення пропускної спроможності електричної мережі та зниження втрат електричної енергії в них з оптимізацією обладнання за типорозмірною структурою.

## 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ

### 1.1 Проблеми функціонування розподільчих електричних мереж

У теперішній час технологічні втрати електричної енергії в мережах 6-10 кВ знаходяться в діапазоні від 5 до 18 %, коли в Європі цей показник значно менший і досягає усього 4-8 %. Також існує значна кількість застарілого обладнання, величина зносу якого сягає 60-70 %.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ,  
2017 р., % від відпуску електроенергії

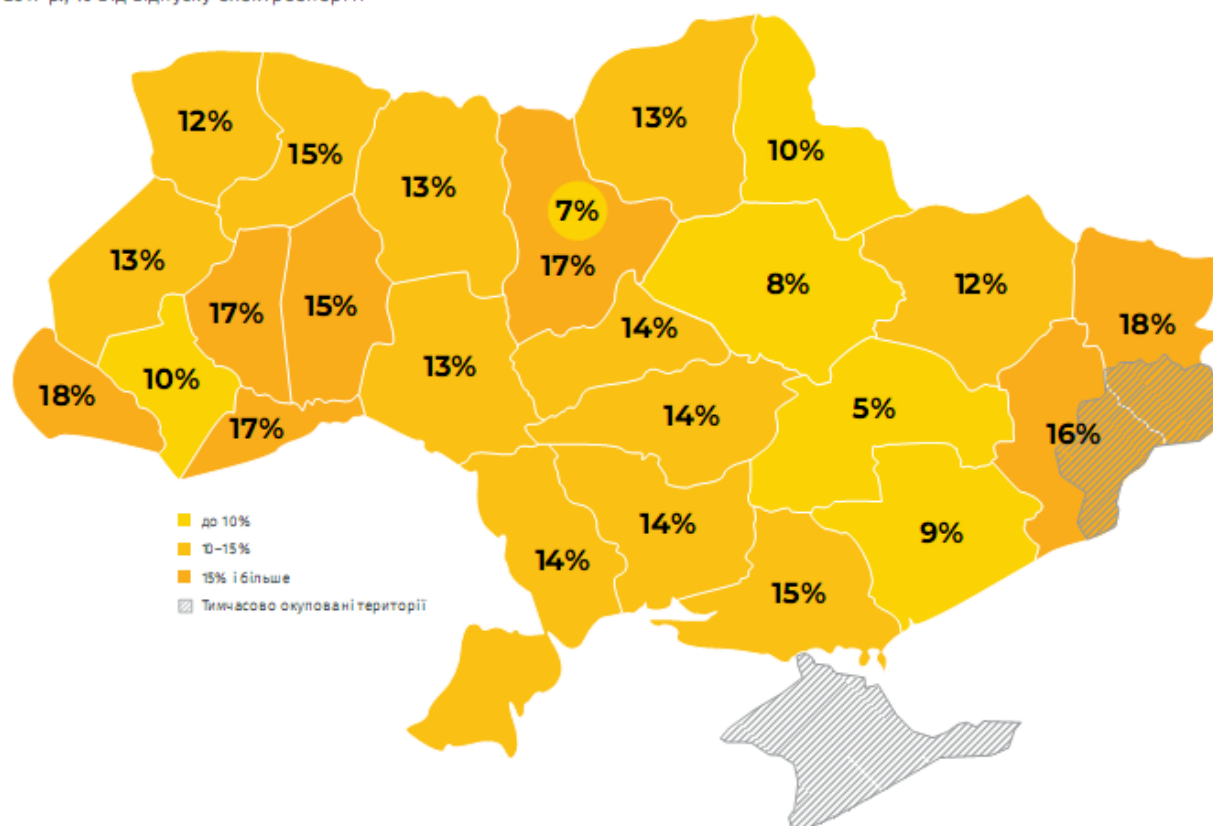


Рис. 1.1. Технологічні втрати електричної енергії в розподільчих мережах України

Тому актуальним на даний час є пошук шляхів ефективної модернізації електромереж з урахуванням зростаючого попиту на електроенергію, що зменшити втрати електричної енергії та зменшить перерви у електропостачанні споживачів.

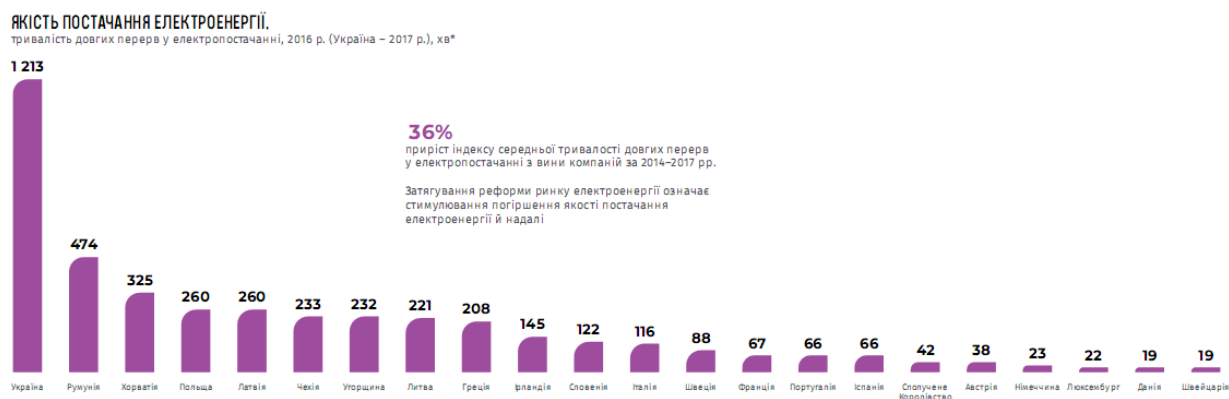


Рис. 1.2 – Порівняльна діаграма якості електричної енергії за показником тривалості перерв в електропостачанні в Україні та Європі

Ще одним із недоліків існуючої електричної мережі 6-10 кВ є морально та фізично застаріле комутаційне обладнання, яке не дозволяє використовувати телемеханізацію та автоматизацію мережі.

### СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ ЕНЕРГОРОЗПОДІЛЬНИХ КОМПАНІЙ, 2016 р., %



Основним стримувальним фактором розвитку системи розподілу є застаріла система тарифоутворення

Рис. 1.3 – Ступінь зношеності основних засобів енергорозподільних компаній



Більшість силових трансформаторів та ліній електропередач 6-10/0,4 кВ в експлуатації більше 40 років, що говорить про їх повний фізичний та моральний знос.

Основними заходами щодо підвищення ефективності роботи розподільчих мереж слід вважати наступні:

- перехід на вищий рівень напруги електропостачання споживачів з суттєвим зменшенням технологічних втрат;
- підвищення якості електроенергії, енергобезпеки й надійності функціонування систем електропостачання;
- створення резерву потужності для гарантованого надійного електропостачання споживачів;
- зниження технологічних витрат електроенергії при її транспортуванні;
- зменшення недовідпуску електричної енергії шляхом автоматизації мереж;
- усунення дефіциту потужності в центрах живлення за рахунок раціонального впровадження споживачів-регуляторів, наприклад, за рахунок електрообігріву або електромобілів за технологією Vehicle-to-Grid (V2G);
- покращення показників якості електропостачання SAIDI та SAIFI за рахунок підвищення надійності роботи електрообладнання та автоматизації мереж, що в свою чергу, призведе до зменшення витрат на ремонт та експлуатацію.

Збільшення електричного навантаження комунально-побутових споживачів значно впливає на пропускну спроможність міських електричних мереж 6-10 кВ, так як електрична мережа не завжди готова до збільшення навантаження, що призводить до виходу з ладу не тільки КЛ 6-10 кВ, а й електричного обладнання. Це призводить до значних перерв в електропостачанні та капіталовкладень.

Виходячи з даних показників зростання електричних навантажень, особливо у випадку переходу на електрообігрів, можна сказати, що пропускну спроможність міських електричних мереж 6-10 кВ повинна бути

збільшена в три рази для безперебійного живлення комунально-побутових споживачів.

Щільність навантаження міських електричних мереж на сьогодні за оцінками експертів складає 10-15 МВт/км<sup>2</sup>, очікується подальше збільшення навантаження в період до 2025 року приблизно втричі, що викликає загрозу стабільній роботі системи електропостачання споживачів через неготовність мереж прийняти та передати це навантаження.

Проведення реконструкції або модернізації розподільчих мереж 6(10) кВ не вирішить у повній мірі проблеми зростання електричних навантажень та забезпечення прогнозованого збільшення електроспоживання міських районів. Реконструкція або модернізація не принесуть економічного ефекту, а тільки приведуть до таких самих проблем через декілька років. Одним із радикальних заходів є переведення електричних мереж на рівень напруги 20 кВ, а відповідні технічні рішення щодо прокладання кабельних ліній застосовуються вже зараз, оскільки проектні організації закладають кабелі з рівнем напруги 24 кВ, що свідчить про наближення тенденції з переведенням мереж на підвищений рівень напруги. Проте таке рішення потребує дуже значних капіталовкладень, що на сьогодні є проблемою для енергорозподільних компаній, які не перейшли на стимулююче тарифоутворення.

Децентралізована генерація електричної енергії є одним з перспективних шляхів вирішення проблеми дефіциту потужності в мережах, проте через стохастичність процесів виробництва електричної енергії вона може навіть поглибити проблему стійкої роботи енергосистеми країни та збільшити витрату палива на теплових електростанціях.

Раціональним заходом може стати ефективне впровадження електромобілів як активних джерел-споживачів-регуляторів електричної енергії в мережах, за рахунок чого можливо буде вирівняти ГЕН групи споживачів 0,4 кВ, а також розвантажити енергосистему в період максимуму

навантаження енергосистеми за рахунок генерації електричної енергії, накопиченої в акумуляторі електромобіля.

## 1.2 Необхідність впровадження децентралізованих систем енергозабезпечення

Навантаження ЕЕС складається з навантажень окремих споживачів (одно-, двох-та тризмінних), кожний з яких має свій характерний ГЕН. Незважаючи на те, що навантаження ЕЕС складається з великої кількості споживачів, вирівнювання підсумкового ГЕН (добового, тижневого, річного) не спостерігається (рис. 1.4).

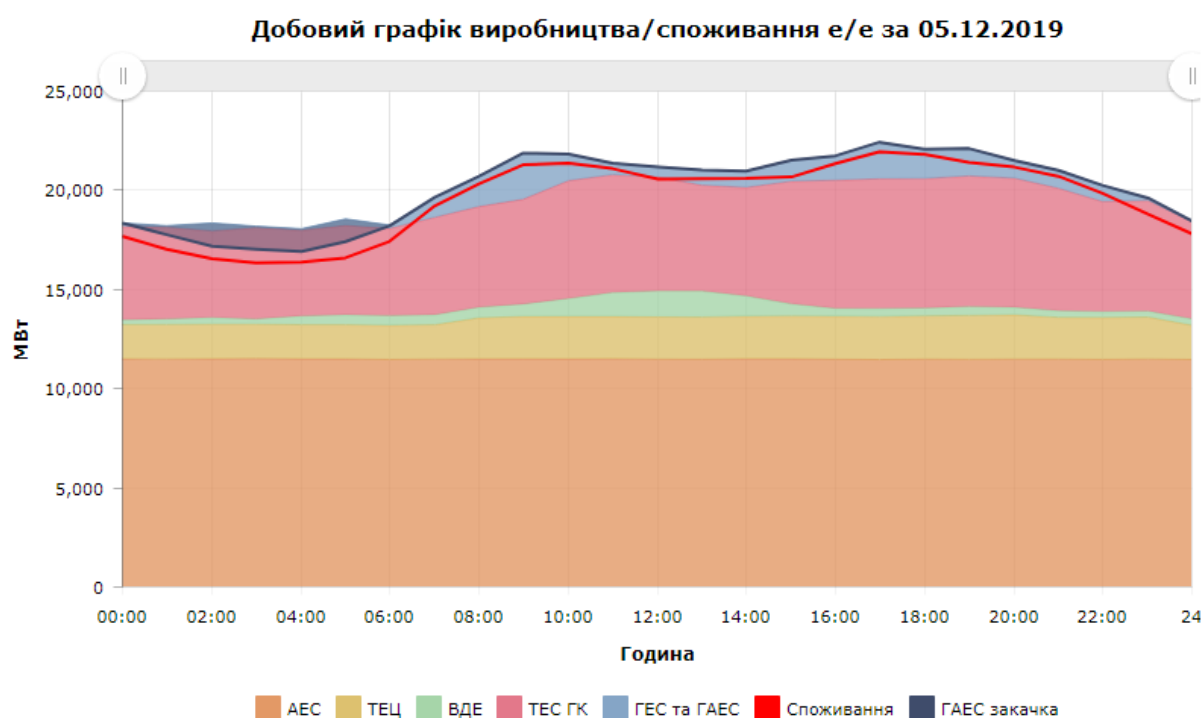


Рис. 1.4 – Графік електричного навантаження енергосистеми України

Аналіз тенденцій розвитку світової енергетики показує, що ключовими факторами є надійність енергопостачання, енергетична безпека, енергоефективність і екологічна гармонізація. При цьому підвищення рівня енергоефективності є стратегічним напрямом зниження енергоємності економіки.

Одним з основних рушійних мотивів розвитку енергетики у період 2020 – 2040 рр. стане запобігання глобальним змінам клімату за рахунок планомірного зниження викидів парникових газів. Ключову роль в успішному вирішенні нагальних проблем енергетики, включаючи задоволення зростаючого попиту, підвищення енергоефективності та надійності енергопостачання з поліпшенням стану навколишнього середовища, визначатимуть інноваційні технології енергетики, спрямовані на розвиток «інтелектуальних» електромереж (Smart Grid), технологій «інтелектуальних» систем обліку і розрахунків (Smart Metering), управління попитом (Demand Response, DR), пристроїв акумулювання енергії та зарядки електромобілів тощо.

Розподілена генерація – найважливіший сектор світової енергетики у майбутньому. Удосконалення технологій та підвищена увага до питань екології відповідно до Паризької кліматичної угоди, вичерпність енергоресурсів, особливо вугілля та нафти, змінюватимуть структуру попиту на первинні енергоресурси та вимагатимуть перегляду традиційних підходів, принципів і механізмів функціонування енергосистеми, розроблення та впровадження нових сучасних технологій на основі ВДЕ, здатних забезпечити сталий розвиток, підвищення споживчих властивостей та ефективності використання енергії [1].

Широкомасштабна інтеграція об'єктів РГ обумовлює цілий ряд нових викликів і завдань для електроенергетичних систем (ЕЕС), зокрема: - забезпечення надійної роботи об'єктів РГ у складі ЕЕС.

Прогнозована міжнародними організаціями тенденція подальшого розвитку ВДЕ потребує відповідної перебудови мережевої інфраструктури в умовах розвитку ринку електроенергії на основі сучасних «інтелектуальних» систем – Smart Grid для автоматизації управління потоками енергії, режимного регулювання перетоками і споживанням електроенергії з планованим використанням маневрених потужностей. Важливим і новим системним фактором, який підсилюється в міру розвитку РГ, є широке

залучення споживачів до процесу управління режимами ЕЕС, у тому числі за допомогою механізмів управління попитом (DR), розвиток та впровадження систем акумулювання енергії (Energy Storage System), новітніх технологій «розумних» систем обліку – Smart Metering, а також інших інноваційних технологій. Процес інтеграції ВДЕ та джерел РГ в ЕЕС потребуватиме:

- впровадження технологій Smart Grid, Smart Metering, систем управління попитом, пристроїв зберігання енергії та інших механізмів, що підвищують гнучкість енергосистеми;
- відмови від жорсткого диспетчерського регулювання на користь координації роботи всіх складових мережі;
- інтеграції Smart-технологій в процеси контролю, обліку та діагностики активів, що забезпечить перспективні можливості самовідновлення енергосистеми;
- побудови високопродуктивної інформаційно-обчислювальної інфраструктури, як ядра енергетичної системи;
- формування передумов для широкого впровадження нових пристроїв, що підвищують маневреність і керованість обладнання для гнучких зв'язків, вставок постійного струму, накопичувачів енергії тощо;
- розвитку розподілених «інтелектуальних» систем управління та аналітичних інструментів для підтримки вироблення та реалізації рішень в режимі реального часу;
- вдосконалення системного метеорологічного прогнозування генерації ВДЕ на основі ефективного досвіду зарубіжних країн (Іспанія, Німеччина, Данія та інші);
- розвитку операційних систем наступного покоління (SCADA/EMS/NMS), що дозволяють використовувати інноваційні алгоритми і методи управління енергосистемою, в тому числі її новими активними елементами;

- формування інтегрованої нормативної бази, стандартизації, технічного забезпечення розвитку «інтелектуальної» електроенергетичної системи. В умовах інтенсифікації розвитку ВДЕ та розподіленої генерації особливої уваги заслуговуватимуть рекомендації міжнародних енергетичних організацій (MEA, CIGRE та ін.) щодо перегляду систем режимно-технологічного управління і планування розвитку енергосистем.

*Переваги широкого впровадження розподіленої генерації для України.*

Розвиток розподіленої генерації дасть громадам і громадянам України:

- енергонезалежність;
- підвищення безпеки постачання;
- збільшення інвестицій у власні громади;
- створення локальних робочих місць;
- зниження негативного впливу на здоров'я.

Інноваційними проектами НЕК «Укренерго», в які активно вкладають кошти стосуються наступних напрямків:

- модернізація SCADA/EMS національного та регіональних диспетчерських центрів;
- часткова модернізація SCADA ПС, організація передачі розширеного обсягу інформації про стан ПС на верхні рівні управління;
- розгорнення першої черги системи WAMS;
- створення системи прогнозування виробітку генерації з ВДЕ;
- розгорнення технологічної платформи відкритості галузі (загальна модель CIM, GIS – карта мереж, засоби розрахунку режимів роботи, карта відключень, розрахунок підключень, технологічна статистика);
- **пілотні проекти технологій V2G (сумісна робота мереж та електромобілів), VPP (віртуальна електростанція), детальне дослідження структури споживання та Demand Response (управління споживанням) [2].**

За спільними дослідженнями Укренерго та Tetra Tech ES максимальний рівень потужності ВДЕ в енергосистемі України не має перевищувати 4750 МВт, з них вітрова генерація – 1750 МВт, а сонячна — 3000 МВт у 2020 році.

Якщо цей рівень не буде перевищено, українська енергосистема буде спроможна збалансувати їх за рахунок інших традиційних джерел (ГЕС, ТЕС тощо). В іншому випадку необхідне будівництво високоманеврової генерації та акумуляторів (energy storages). В будь-якому випадку в зв'язку зі скороченням вугільної генерації для компенсації ВДЕ до 2025 року необхідно збудувати 1000 МВт газових енергоустановок зі швидким стартом та 500 МВт energy storages.

Зі свого боку Укренерго розглядає два основних варіанти вирішення проблем балансування енергосистеми за рахунок будівництва energy storage. Перший — з розташуванням 200 МВт energy storage в одному місці, другий — в кількох місцях з розділенням на 4-5 частин. Вартість цього проекту наразі оцінюється в EUR 154 млн. В цьому напрямку вже ведеться активний діалог із зарубіжними партнерами.

### **1.3 Потенціал використання електромобілів у системах електропостачання України**

Нині Україна є регіональним лідером по кількості автомобілів на електричній тязі. Статистика, що ведеться у нашій державі, у порівнянні зі статистикою інших країн доводить: українці насправді зацікавлені в переході на електромобілі, або принаймні в частковій заміні в побуті (друге авто - електрокар) та бізнесі (таксі та служби доставки на електромобілях) авто з ДВЗ на електрокари. Якщо станом на 1 червня 2018 року в Україні було зареєстровано 17810 легковий електромобіль. Сьогодні це вже близько 26410 – включно із plug-in гібридами. Україна лишається лідером Східної Європи за кількістю електромобілів. Цікаво, що в Росії електрокарів утричі менше, аніж у нас: всього 2,5 тисячі. Лідер ринку Польщі – компанія GreenWay Polska – звітується про 1250 клієнтів та стверджує, що це близько 75% усіх власників plug-in авто в країні.

Найбільшим попитом електромобілі користуються в Києві, на Одещині та Харківщині. Лідер серед електричних авто в Україні - Nissan Leaf. Саме

цьому авто віддають перевагу українці - оскільки воно дуже привабливе за співвідношенням ціни та якості. Іще один важливий момент, який підсилював цей ефект привабливості - пільгові умови ввезення електрокарів з-за кордону, які всерйоз підіграли активізації ринку електрокарів у 2018 році. Інша вагома причина популярності електрокарів - вартість електроенергії в Україні. Особливо - в нічний час. Особливо - у порівнянні із вартістю бензину, дизпального, і навіть газу.

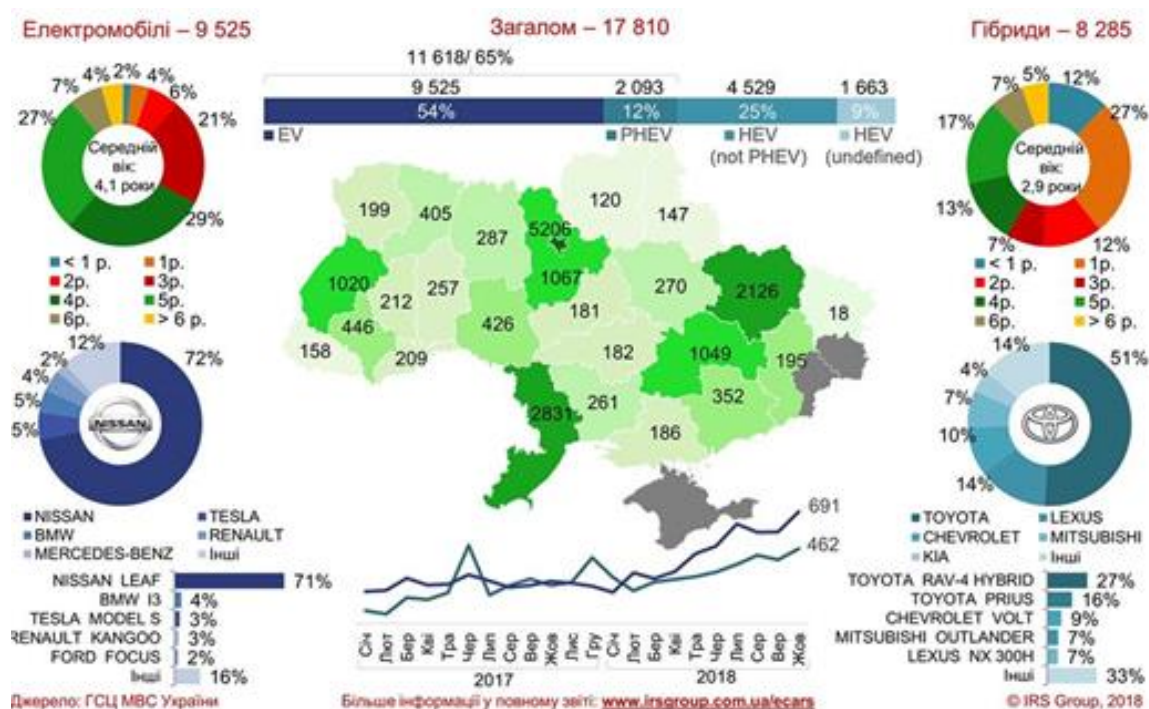


Рисунок 1.5 – Кількість зареєстрованих легкових електромобілів та гібридів в Україні на 01.07.2018



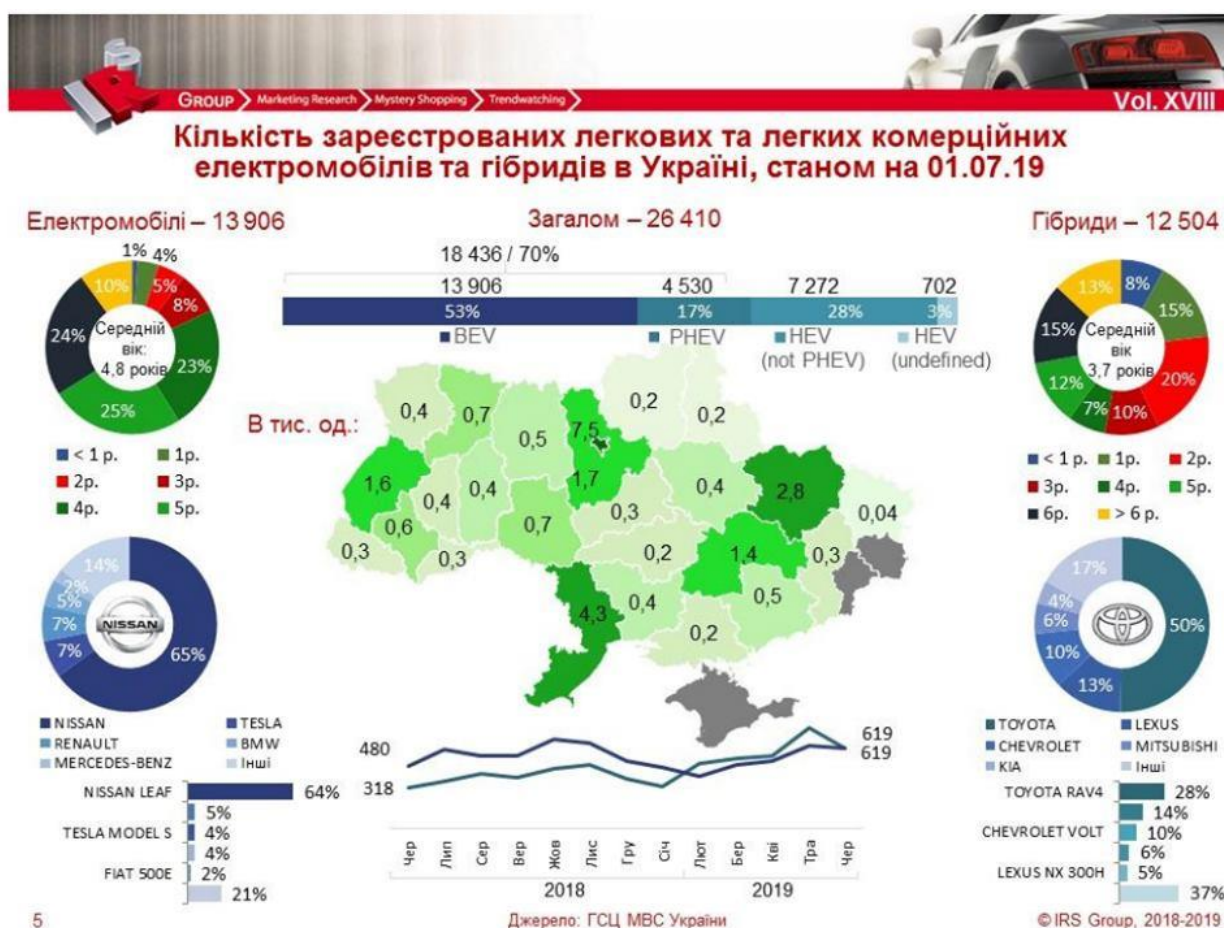


Рисунок 1.6 – Кількість зареєстрованих легкових електромобілів та гібридів в Україні на 01.07.2019

Цікаво, що дані імпорту електромобілів до України та дані продажів електромобілів досить суттєво відрізняються.

Отож і не дивно, що лівова частка завезених до України електроавтівок - це вживані NISSAN LEAF із США, де діє особлива система державної підтримки електромобілів. Взагалі фахівці констатують, що кількість нових електрокарів, завезених до України, вкрай мала. Так за січень-вересень 2018 року дилери завезли до нашої держави всього 215 нових електромобілів. Це 5% від загального обсягу імпорту.

Голосування Верховної Ради за продовження скасування ПДВ до 2022 року відбулося 23 листопада 2018 року та було підтримано депутатами, що створює ще більш позитивні передумови для розвитку відповідного ринку електромобілів та вимагає ефективного забезпечення масового впровадження

електрокарів до електричних мереж шляхом раціональної побудови та використання мережі зарядних станцій.

Випереджаючий розвиток у світовій енергетичній сфері потужностей ВДЕ з нестабільною генерацією каталізував зусилля з модернізації інфраструктури енергосистем з відповідним розвитком регулюючих та резервних засобів управління енергозабезпеченням, як засобів резервування нестабільної генерації для підвищення «гнучкості» енергосистеми. Системи, що акумулюють енергію на різних рівнях, використовуються для оперативного регулювання режиму роботи системи та управління коливаннями потужності в ній. Рівень технічних рішень, які застосовуються для акумулювання електроенергії, їх ефективність оцінюється по потужності та часу їх заряду / розряду (швидкодії по віддачі енергії та швидкості акумулювання її надлишку в енергосистемі).

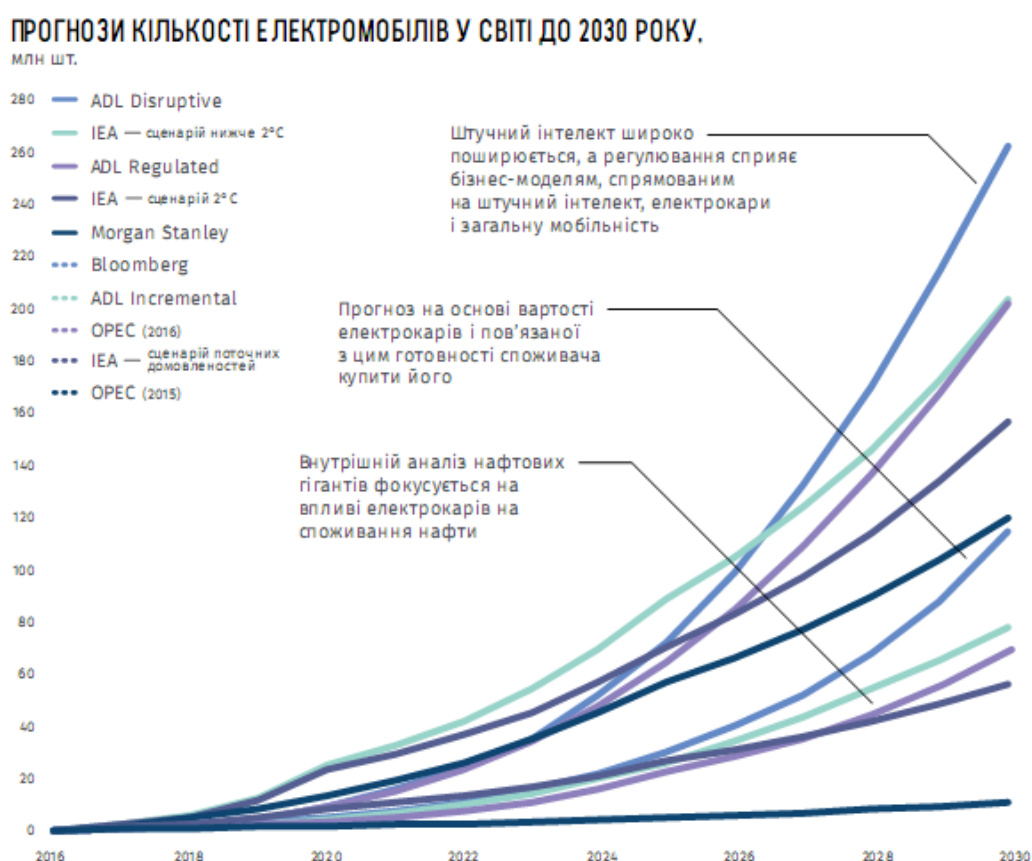


Рисунок 1.7 – Прогнози кількості електромобілів у світі до 2030 року

Вартість систем зберігання та конструкції різного типу батарейних систем. За оцінкою IRENA, вартість систем акумулювання продовжує знижуватися, окремі види батарейних технологій виробництва наближено до нижньої межі, зумовленої собівартістю основних матеріалів і хімічних сполук. На окремі технології прогнозується зниження ціни до 2020 р. майже в 1,5 – 2 рази. Це узгоджується з прогнозом до 2020 р. компанії Tesla щодо зниження майже вдвічі діючих цін літій-іонних акумуляторів для домашніх PV-установок – до рівня 0,2 дол.

Доцільно відзначити майже 50%-ве зростання ринку накопичувачів у 2016 році, що не відносяться до ГАЕС, що свідчить про перспективу широкого впровадження потужних промислових накопичувачів енергії у найближчі роки.

В Україні на даний час не відбувається змін щодо видачі технічних умов до спорудження об'єктів відновлюваної енергетики з засобами акумуляції електричної енергії для можливості рівномірної генерації у відповідності до потреб енергосистеми у потужності. Принцип, який зберігається – максимальна видача «зеленої» потужності у мережу та її залежність від первинних джерел – сонце, вітер.

Стаціонарні системи акумуляції енергії за допомогою літій-іонних батарей для мешканців України є в більшості випадків дорогими та недоцільними до простого впровадження у якості автономного джерела живлення. Проте їх ефект може бути більш значним за умови комбінованого використання у випадку подвійного використання батареї, наприклад для умов технологій V2G та G2V електромобілів, що суттєво покращить як ефект для індивідуального користувача, так і для енергосистеми в цілому за умови стрімкого розвитку електромобілітету, для якого є всі передумови в Україні.

Одним з основних напрямів розвитку транспортних засобів на сьогоднішній день є поступова заміна транспорту, що використовує двигуни внутрішнього згоряння, на електромобілі з метою зменшення викидів CO<sub>2</sub>. В багатьох європейських країнах прийняті законодавчі акти, які сприяють

розповсюдженню електротранспорту і містять основні вимоги й умови реалізації масштабної програми розвитку електромобілітету [4].

Збільшення кількості електричних транспортних засобів робить їх важливою складовою системи електропостачання як на регіональному рівні, так і на рівні всієї країни. Розвиток електричних мереж з електромобілями, розробка і використання технологій Smart Grid для них здійснюється з урахуванням додаткових вимог і обмежень відносно режимів заряду тягових батарей автомобілів з метою забезпечення їх ефективної інтеграції в гібридну систему електропостачання [5-6].

Проте існує ще одна можливість інтеграції електричних транспортних засобів в електричну мережу при використанні їх для регулювання навантаження енергосистеми. Підхід полягає в тому, щоб заряд акумуляторів транспортних засобів здійснювати в основному під час мінімуму навантаження енергосистеми, а в пікові періоди часу – генерувати енергію від акумулятора в мережу. Масове використання електромобілів в такому режимі дозволить знизити попит на електроенергію в пікові періоди, що, у свою чергу, знижує потребу в пікових електростанціях і допомагає зменшити шкідливі викиди, оскільки такі генеруючі джерела звичайно менш екологічні й ефективні порівняно з електростанціями, забезпечуючими постійне (базове) навантаження. Ця задача актуальна як для багатьох європейських країн, так і для України.

Достатня кількість електричних транспортних засобів, працюючих паралельно в режимі регулювання навантаження, схожа по режиму роботи й дії на мережу гідроакумуючим електростанціям. Тому забезпечення такого режиму забезпечує переваги для джерела живлення, включаючи зменшення викидів CO<sub>2</sub> [7].

#### **1.4 Наукова задача дослідження**

Розглядаючи процеси передачі та споживання електричної енергії в міських електричних мережах доцільним є визначити параметри режимів роботи електричних мереж з електромобілями у якості споживачів-регуляторів, особливо, що стосується динаміки зміни втрат електричної енергії за умови використання електромобілів в міських електричних мережах у якості активних споживачів-регуляторів електричного навантаження.

Враховуючи низьку ефективність роботи електроенергетичної системи через невпорядковане електроспоживання, перевитрату палива на теплових електростанціях в режимі маневрового покриття навантаження, доцільними заходами повинні стати науково-обґрунтовані рішення щодо зниження нерівномірності графіка електричних навантажень.

У дипломній роботі необхідно розглянути процеси передачі та споживання електричної енергії в міських електричних мережах 6-10 за умови масового впровадження електромобілітету.

**Наукова задача дослідження** полягає у встановленні закономірностей динаміки зміни втрат електричної енергії в розподільчих електричних мережах за умови використання електромобілів за технологією активного споживача-регулятора, а також вилучення наявних резервів пропускної спроможності мереж і ефективного використання електрообладнання.

## 2. АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В МІСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У ЯКОСТІ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ НАВАНТАЖЕННЯ

### 2.1 Теоретичні засади визначення втрат електричної енергії в електричних мережах

Під час передачі електричної енергії від електростанції до споживачів має місце зменшення її кількості, оскільки частина енергії неминуче затрачується на нагрівання проводів (жил кабелів) і обмоток трансформаторів, створення електромагнітних полів та інших ефектів, що мають місце при роботі електричної мережі. Таким чином, електрична енергія – такий вид енергії, транспортування якої здійснюється за рахунок використання її частини. Ці витрати електричної енергії є втратами. Втрати електричної енергії при її передачі неминучі. Завдання полягає у визначенні їх оптимального рівня і підтриманні дійсних втрат на цьому рівні.

Втрати електричної енергії є важливим технічним і економічним показником у роботі мережі, тому їм приділяється суттєва увага як на стадії проектування, так і в процесі експлуатації електричних мереж.

Втрати енергії в мережах енергетичних компаній України складають до 18% (див. рис. 1.1) від всієї виробленої електростанціями енергії, а з урахуванням втрат у споживачів цей відсоток значно більший.

Втрати енергії в мережах можна визначити шляхом розрахунків або за даними лічильників електричної енергії. За допомогою лічильників визначають фактичні (звітні) втрати – різниця між значенням електричної енергії, відпущеної з шин електричних станцій,  $A_e$  та сумою складових електроенергії, за яку сплатили споживачі,  $A_c$  і електроенергії, витраченої на власні потреби енергосистеми,  $A_0$  [8]:

$$\Delta A = A_e - (A_c + A_0).$$

Величина втрат  $\Delta A$  включає технічні втрати  $\Delta A_{\text{тех}}$ , що характеризують технічний стан мереж і режими їх роботи, а також ту частину різниці з рівняння, яка зумовлена неточністю визначення її складових. Причому, якщо неточність у визначенні  $A_e$  і  $A_0$  залежить від похибки приладів обліку електроенергії (інструментальна похибка), то похибка у визначенні  $A_c$  залежить і від інших факторів: наявності споживачів без лічильників (безоблікові споживачі, величина споживання електроенергії яких визначається за встановленою потужністю електричного обладнання або іншим шляхом); неодноразовістю зняття показів лічильників; можливого її розкрадання тощо. Для характеристики таких втрат енергії використовується термін «комерційні втрати»  $\Delta A_k$ .

Дійсне значення технічних втрат  $\Delta A_{\text{тех}}$  можна встановити тільки за допомогою розрахунків. Після розрахунків технічних втрат визначають комерційні втрати:

$$\Delta A_k = \Delta A - \Delta A_{\text{тех}}.$$

Економічно обгрунтовані (оптимальні) технічні втрати  $\Delta A_{\text{то}}$  визначаються як різниця між їх дійсним значенням  $\Delta A_{\text{тех}}$  і можливим зменшенням втрат  $\delta A_{\text{тех}}$  за рахунок технічних, організаційних та інших заходів:

$$\Delta A_{\text{то}} = \Delta A_{\text{тех}} - \delta A_{\text{тех}}.$$

Оптимальні технічні втрати  $\Delta A_{\text{то}}$  не є постійною величиною для мережі. Визначені на стадії розробки проекту вони відповідають прогнозованим навантаженням, на базі яких виконуються проектні розрахунки [8].

Технічні втрати в свою чергу поділяються на навантажувальні втрати, втрати холостого ходу і втрати на корону. Розраховують їх окремо для

кожного виду обладнання електричних мереж (втрати в проводах ліній, в трансформаторах, реакторах тощо), а потім їх складають для певних схем.

Значення втрат електроенергії в будь-якому елементі мережі визначається як добуток втрат потужності на тривалість часу, протягом якого вони мали місце. Причому, точність таких розрахунків залежить від характеру навантаження і його зміни протягом часу, за який визначаються втрати енергії. В лінії, яка працює з постійним навантаженням і має постійну величину втрат активної потужності  $\Delta P$  протягом часу  $T$ , втрати енергії

$$\Delta A = \Delta P T$$

або

$$\Delta A = 3I^2 R T = (S / U)^2 R T$$

Техніко-економічні показники для мереж розраховують для визначеного відрізка часу, найбільш представницькими є показники за рік роботи. Тому і втрати енергії визначають для року роботи мережі, тобто  $T = T_{\text{рік}} = 24 * 365 = 8760$  годин. Якщо використовувати вище наведену формулу, то потрібно, щоб  $I = \text{const}$  та  $S = \text{const}$  протягом усього року.

Більшість споживачів має змінний режим навантаження, що зумовлює змінне навантаження мережі. В цьому разі втрати енергії за рік [8]:

$$\Delta A = 3R \int_0^{8760} I^2 dt = R \int_0^{8760} \frac{S^2}{U^2} dt = R \left( \int_0^{8760} \frac{P^2}{U^2} dt + \int_0^{8760} \frac{Q^2}{U^2} dt \right),$$

тобто вони пропорційні площі квадратичного річного графіка навантажень. З формули можна виявити потрібний обсяг інформації про електричну мережу або в цілому про енергетичну систему для розрахунку втрат енергії.



В розподільних мережах енергокомпаній і значної кількості підприємств, де експлуатуються підстанції без обслуговуючого персоналу, інформація про режим визначається лише для двох діб контрольних погодинних записів для режиму найбільших і найменших навантажень енергокомпанії. Це складає графіки навантажень за 48 годин із 8760 годин роботи. Зрозуміло, що така інформація не є повною за часом і обмежено достовірною через малий обсяг вибірки та за значенням величин, так як використовувались вимірювальні прилади з низьким класом точності і не одночасно на всіх підстанціях.

## **2.2. Методи визначення втрат електричної енергії**

В залежності від обсягу інформації про навантаження елементів мережі за розрахунковий час для визначення втрат використовують найчастіше такі методи:

1. Метод графічного інтегрування. В деяких працях цей метод має назву поелементних розрахунків. Він використовується в тому разі, коли відомий графік навантаження мережі за розрахунковий період.

2. Метод характерних режимів.

3. Метод характерних діб.

4. Метод середніх навантажень.

5. Метод часу найбільших втрат.

6. Імовірісно-статистичні методи.

Найчастіше використовується метод №5 для проведення розрахунків річних втрат електричної енергії. Проте, за умови добового регулювання ГЕН за допомогою електромобілів є науково цікавим дослідити вплив такого регулювання на динаміку зміни втрат електричної енергії шляхом використання методу графічного інтегрування добового ГЕН.

**Метод графічного інтегрування** базується на графіку навантажень за визначений період часу  $T$  (рік або інший проміжок часу). При використанні методу графічного інтегрування приймається, що напруга змінюється в

малих межах і тому допустимо прийняти, що вона дорівнює номінальній. При наявності графіка навантажень цей графік перебудовують у графік квадратичних значень (рис. 2.1,б). Потім проміжок часу  $T$ , відкладений по осі абсцис, ділиться на  $n$  рівних частин.

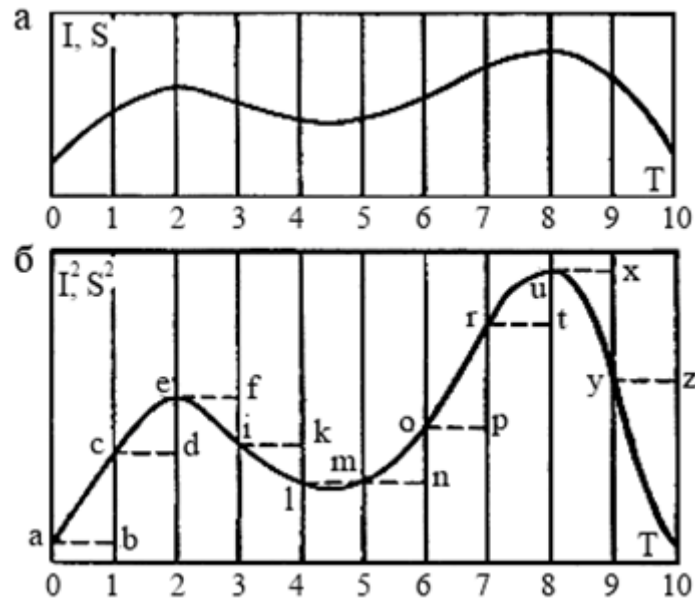


Рисунок 2.1 – Річні графіки навантажень для визначення втрат електричної енергії

В цьому випадку площа кожного елемента графіка визначається прямокутниками (рис. 2.1,б). При апроксимації графіка прямокутниками його площа становить [8]:

$$\int_0^T I^2 dt = I_0^2 \frac{T}{n} + I_1^2 \frac{T}{n} + \dots + I_{n-1}^2 \frac{T}{n} = \frac{T}{n} \sum_0^{n-1} I_i^2 ;$$

$$\int_0^T S^2 dt = \frac{T}{n} \sum_0^{n-1} S_i^2 .$$

Після того, як визначена площа графіка, розраховують втрати енергії:

$$\Delta A = \frac{3RT}{n} \sum I_i^2 ; \quad \Delta A = \frac{3RT}{nU^2} \sum S_i^2 ;$$

$$\Delta A = \frac{3RT}{nU^2} \left( \sum P_i^2 + \sum Q_i^2 \right).$$

Метод графічного інтегрування дуже трудомісткий, оскільки потребує погодинної (а може і частіше) реєстрації показань пристроїв (приладів) на підстанціях або застосування самописних пристроїв (приладів) з подальшою обробкою отриманої інформації. Але його перевага над іншими методами – висока точність результатів, що в практиці приймається як еталонне значення втрат енергії, за яким оцінюють достовірність результатів інших методів розрахунку втрат.

**Метод визначення втрат енергії за часом найбільших втрат** базується на заміні реального графіка навантаження за рік графіком навантаження за тривалістю (рис. 2.2).

$$\Delta A_{\text{рік}} = (R \sum \Delta P_i t) / (U_{\text{н}}^2 \cos^2 \varphi_i)$$

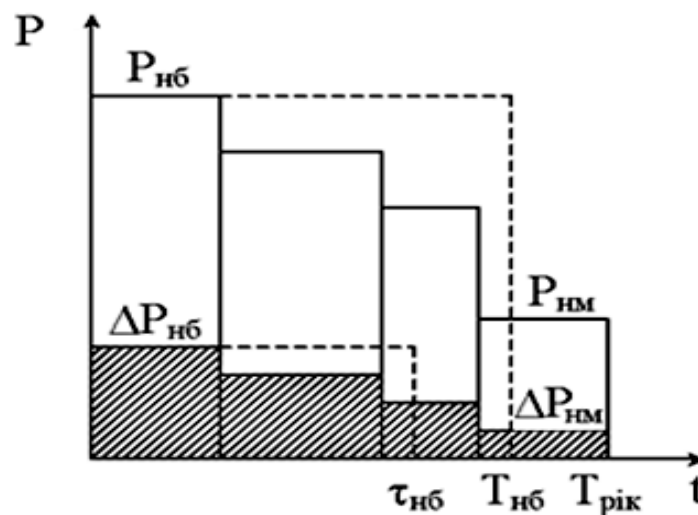


Рис. 2.2. Визначення втрат енергії за методом  $\tau_{\text{нб}}$ .

Використовуючи методику визначення величини  $T_{\text{нб}}$ , ступеневий графік втрат потужності замінюється прямокутником, одна сторона якого дорівнює

$\Delta P_{\text{нб}}$ , а друга –  $\tau_{\text{нб}}$  підбирається так, щоб площа прямокутника дорівнювала сумі площ ступеневого графіка втрат потужності. Тоді

$$\Delta A_{\text{рік}} = \Delta P_{\text{нб}} \tau_{\text{нб}}.$$

$$\tau_{\text{нб}} = \frac{\int_0^T I^2 dt}{I_{\text{нб}}^2} = \frac{T \sum I_i^2}{I_{\text{нб}}^2}$$

або

$$\tau_{\text{нб}} = \frac{\int_0^T S^2 dt}{S_{\text{нб}}^2} = \frac{T \sum S_i^2}{S_{\text{нб}}^2}.$$

Величина  $\tau_{\text{нб}}$  носить назву часу найбільших втрат, тобто це такий час, протягом якого лінія з найбільшим сталим навантаженням має втрати енергії, тотожні дійсним річним втратам енергії при роботі лінії з реальним графіком навантаження.

На практиці значення часу найбільших втрат (в годинах) визначають за формулою

$$\tau_{\text{нб}} = \left( 0,124 + \frac{T_{\text{нб}}}{1000} \right)^2 8760.$$

Формулу використовують для розрахунку втрат енергії за рік.

У трансформаторах втрати енергії розраховують з урахуванням тієї обставини, що втрати потужності в магнітопроводі носять сталий характер за часом. Тоді

$$\Delta A_{\text{рік транс}} = \Delta P_{\text{хх}} T_{\text{рік}} + \Delta P_{\text{обм(нб)}} \tau_{\text{нб}}.$$

Недоліком є те, що наведені формули визначення  $\tau_{\text{нб}}$  не враховують форми кривої графіка навантажень. У цих формулах одному значенню  $T_{\text{нб}}$  відповідає одне значення  $\tau_{\text{нб}}$ .

$$\Delta A_{\text{рік}} = \frac{S_{\text{нб}}^2}{U_{\text{н}}^2} R \tau_{\text{нб}} = \frac{P_{\text{нб}}^2 + Q_{\text{нб}}^2}{U_{\text{н}}^2} R \tau_{\text{нб}}.$$

Для зменшення похибок при розрахунках  $\Delta A_{\text{рік}}$  необхідно враховувати конфігурацію графіка навантаження, динаміку коефіцієнта потужності і можливий не збіг максимумів активної та реактивної потужностей за часом в межах доби [8].

### 2.3. Заходи зі зменшення втрат електричної енергії

В умовах зростаючої нестачі енергоносіїв розробка заходів з енергозбереження має державне значення. Для зменшення втрат електроенергії не всі заходи мають високу ефективність, що обумовлює доцільність проаналізувати ці заходи і виробити рекомендації щодо їх застосування. Найчастіше використовують класифікацію заходів з їх поділом на організаційні, технічні і заходи по вдосконаленню системи розрахункового і технічного обліку електроенергії.

Організаційні заходи практично не потребують додаткових коштів для їх впровадження, а виконуються за рахунок витрат на експлуатацію електричних мереж. Вони передбачають удосконалення обслуговування мереж, оптимізацію їх схем і режимів роботи. До організаційних заходів відносяться [8]:

- оптимізація сталих режимів і схем мереж;
- переведення генераторів електричних станцій в режим синхронних компенсаторів при дефіциті реактивної потужності у системі;
- оптимізація робочих напруг у вузлах електропостачання;
- відключення частини трансформаторів на підстанціях у режимах малих навантажень;

- вирівнювання навантаження фаз в мережах;
- зменшення тривалості та покращення якості ремонтів;
- розробка нових заходів по зменшенню втрат енергії.

Технічні заходи пов'язані із застосуванням додаткового обладнання або заміною його на більш досконале. Їх можна поділити на заходи з цільовим ефектом зменшення втрат і заходи з іншим цільовим напрямком та із супутнім зменшенням втрат. Технічні заходи з цільовим зменшенням втрат розробляються спеціально для зменшення втрат електроенергії. Капіталовкладення в ці заходи окуплюються цілком за рахунок зменшення втрат. Доцільність таких заходів визначається техніко-економічними розрахунками. До технічних заходів із супутнім зменшенням втрат можливо віднести заходи по збільшенню пропускної спроможності мережі, по забезпеченню якості електричної енергії, покращенню режиму мережі тощо. В цілому до технічних заходів відносять:

- установку компенсуючих устаткувань;
- заміну проводів на проводи з більшою площею поперечного перерізу;
- заміну перевантажених і недовантажених трансформаторів;
- застосування автоматичного регулювання потужності батарей конденсаторів;
- переведення мереж на більшу номінальну напругу;
- використання більш досконалих схем і обладнання в мережах тощо.

Заходи по вдосконаленню системи розрахункового і технічного обліку електроенергії інколи називають комерційними заходами. До них відносять:

- вдосконалення системи обліку електроенергії;
- боротьба з розкраданням електроенергії тощо.

Заходи по зменшенню втрат потужності розглядаються як на стадії проектування мереж, так і в процесі їх експлуатації. Дуже часто такі заходи є складовою частиною оптимізації режимів мереж енергосистеми і споживачів. Але треба мати на увазі, що інколи оптимізація енергосистем не веде до зменшення втрат. Це буває тоді, коли оптимізаційним параметром є інший

показник (наприклад, питома вартість виробництва електроенергії тощо). Зміна навантаження мереж енергосистем і споживачів веде до зміни величини втрат. Тому рівень втрат потрібно постійно контролювати.

Оптимізаційні заходи складаються з багатьох рішень, які в тому чи іншому випадку дають вагомі результати. Найбільший ефект із заходів по оптимізації схем і режимів дає регулювання добового графіка навантажень. Таке регулювання направлене на зменшення потужності навантажень в години максимуму навантажень в енергосистемі. При нинішній системі оплати за електроенергію це зменшить вартість електроенергії для споживача. Крім того, враховуючи, що втрати залежать від величини навантаження в квадраті, то регулювання графіка навантажень в бік його вирівнювання дає значний ефект по зменшенню втрат. Регулювання добових графіків навантаження можливо різними способами. В першу чергу доцільно вирівняти графік за рахунок переведення найбільш енергоємного обладнання, працюючого періодично, з годин максимуму навантажень енергосистеми на роботу в інший час доби. До такого обладнання відносять систему відливання води з шахт, скіповий підйом на вугільних шахтах, компресорні станції, насоси подачі води, зарядні станції, групи верстатів, термічне обладнання тощо. Зрозуміло, що деякі такі заходи потребують обладнання накопичуючих пристроїв для води, вугілля, стислого повітря або створення запасів напівфабрикатів. До заходів з вирівнювання добових графіків навантажень відносять зсув за часом початку змін роботи цехів, підприємств, створення третіх (нічних) змін для найбільш енергоємного обладнання. Ці заходи по зміні режиму роботи у деякій мірі пов'язані з умовами праці робітників (проблема перевезення людей в нічну зміну, забезпечення їжею тощо), що вимагає відповідних узгоджень з профспілками та іншими організаціями. Інноваційним заходом слід вважати використання потенціалу електромобіля у якості споживача-регулятора, що також дозволить виконати вирівнювання ГЕН на рівні розподільчих мереж споживачів, при чому – вирівнювання активної складової графіка із

забезпеченням ефективного енергообміну між системою та накопичувачами за допомогою двонаправлених зарядних станцій.

Тому дослідження потенціалу вирівнювання ГЕН за допомогою електромобілів з позицій зниження втрат електричної енергії в мережах є актуальним питанням, яке потребує дослідження та обґрунтування щодо доцільності та техніко-економічного ефекту.

## 2.4 Аналіз типових графіків електричних навантажень міських електричних мереж

Для обґрунтування деяких важливих параметрів, які стосуються нерівномірності ГЕН споживачів міських електричних мережах та оцінки потенціалу їх вирівнювання, слід виконати аналіз графіків електричного навантаження (ГЕН) типових міських об'єктів. За ГЕН типових споживачів (рис. 2.3) у разі їх живлення від окремої ТП можна визначити доцільну потужність трансформаторів ТП, їх кількість з позицій ефективного використання.

У разі живлення від окремої ТП різних за характером, або декілька споживачів району доцільно скористатися наступними типовими ГЕН (рис. 2.3), у яких враховано прив'язку до найпотужнішого об'єкту.



Рисунок 2.3 – ГЕН ТП-6(10)/0,4, що живить житлові будинки з газовими плитами



Таблиця 2.1

Добові показники ГЕН типових споживачів міських електричних мереж

Об'єкт	Години доби / Електричне навантаження відносно максимального, %											
	0-1:00	1:00-2:00	2:00-3:00	3:00-4:00	4:00-5:00	5:00-6:00	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00
ТП-10/0,4, (живить житлові будинки з газовими плитами)	46	30	28	25	25	25	32	40	35	30	32	35
Об'єкт	Години доби / Електричне навантаження відносно максимального, %											
	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00	22:00-23:00	23:00-24:00
ТП-10/0,4, (живить житлові будинки з газовими плитами)	32	30	30	30	39	48	69	90	95	100	81	62

Таблиця 2.2

Коефіцієнти типових графіків електричного навантаження об'єктів міста

Об'єкт	Коефіцієнт нерівномірності, $K_{нр}$	$T_m$ , год	$P_c$ , в.о.	$P_{ск}$ , в.о.	$K_{з.г.}$	$K_f$	$\cos$
ТП-10/0,4, (живить житлові будинки з газовими плитами)	0,25	3975,8	0,454	0,510	0,4538	1,12	0,9

Згідно даних щодо типових графіків електричних навантажень об'єктів міських електричних мереж та розрахованих коефіцієнтів нерівномірності можна зробити висновки, що маневрена частина ГЕН малопотужних комунально-побутових споживачів є більш яскраво вираженою, порівняно з ГЕН енергосистеми, оскільки переважна більшість таких споживачів не використовує механізм диференційованої системи тарифікації плати за користування електричною енергією. Це спричиняє суттєвий нічний провал електроспоживання порівняно, зокрема, з ранковим та вечірнім піками. Відношення мінімального (базового) навантаження до максимального

(пікового) коливається в діапазоні 60-90 % для окремих видів споживачів та складає 75% - на рівні живлячих підстанцій району з житловими будинками з електроплитами, 85 % - на рівні живлячих підстанцій району з житловими будинками з газовими плитами. Як правило, електричні навантаження на рівні підстанцій формує група струмоприймачів, найбільш потужними з яких є багатоповерхові будинки з газовими або електричними плитами. Типові ГЕН приміських мереж з приватними будинками можна прийняти аналогічними, залежно від виду електрифікації об'єктів, що підключаються до ТП, або з урахуванням їх газифікації.

## 2.5 Технічні характеристики типових електромобілів та зарядних станцій до них

Для виконання подальшого аналізу і визначення потенціалу впливу електромобілів на показники роботи електричних мереж 6-10/0,4 кВ проаналізуємо технічні характеристики найбільш розповсюджених електромобілів на прикладі Nissan Leaf (2016).

У Nissan Leaf 2016 залежно від країни виробника поміщають батарею ємністю 30 кВт·год (в Європі) з запасом ходу до 160-172 км. У електрокар 2017 року для продажу в будь-якій країні встановлюють батарею ємністю в 40 кВт·год.

Таблиця 2.3  
Технічні характеристики Nissan Leaf

Марка автомобіля	Ємність батареї, кВт·год	Запас ходу, км	Питома витрата електроенергії, кВт·год/100 км	Гарантований ресурс батареї, рік	Гарантований ресурс батареї, км
Nissan Leaf 2016	30	250	15	8	160000

- загальний ресурс  $S = 160000$  км;  $T = 8-10$  років;
- річне використання  $S_p = 15000-20000$  км/рік;
- питома вартість батареї –  $C_{\text{пит}} = 200$  \$/кВт·год;
- питома витрата енергії –  $W_{S,\text{пит}} = 0,15$  кВт·год/км

Таблиця 2.4

## Технічні характеристики розповсюджених електромобілів в Україні

Модель	Потужність двигуна,	Запас ходу, км	Швидкість зарядки, год			Потужність АКБ, кВт·год	Потужність бортового зарядного пристрою, кВт
			220 В	380 В	Supercharger (80% заряду)		
Tesla Roadster	148-211	355	16	3	0,8	53	16,8
Tesla Model S	231-391	335-435	20-30	3-4	0,5-0,7	60-90	11/22
Tesla Model X	385-560	355-413	20-30	3	0,5-0,7	70-90	18
Nissan Leaf (2013)	80	135-172	7-8	3	0,5	24	3,3/6,6
BMW I3(2013)	125	130	8	3	0,5	22	7.4
Renault Zoe (2013)	65	145	6-9	1	0.5	22	43
Renault Zoe (2014)	65	240	7-9	1	0.5	22	22
Renault Fluence ZE	65	180	7-8	1	0.5	22	22
Ford Focus Electric	107	160-180	7-8	3-4	-	23	6.6
VOLKSWAGEN E-GOLF	85	130-190	7-8	4-5	0.5	24.2	3.6/7.2
Mersedes-Benz B-Class	132	140-200	9-10	3	0.5	28	10
KIA SOUL EV	81	150-212	8-9	5	0.5	27	6.6
HYUNDAI IONIQ ELECTRIC	88	177-250	8-14	-	0.4-0.5	28	-
Nissan E-NV200	80	120	7-8	4	0.5	24	3.3/6.6
RENAULT KANGOO Z.E.	44	120	7-8	-	-	22	3.3

Розглядаючи електричні мережі 6-10 кВ міст, та оцінюючи потенційний вплив електромобілів на їх параметри, можна зробити висновок, що дослідження стосується групових станцій заряду/розряду 380 В.

При зростанні кількості електромобілів України до 250000 шт., можна прийняти, що кількість електромобілів складатиме близько 10 шт на 1000 чоловік, тобто сукупний заряд-розряд електромобілів може стати значним навантаженням в умовах одиначної підстанції, що може створити

передумови до необхідності збільшення параметрів устаткування живлячої підстанції та її реконструкції. Упорядковане споживання-генерація енергії може сприяти навіть зниженню існуючого максимуму навантаження та більш ефективному використанню номінальних параметрів електрообладнання.

## **2.6. Моделювання ефективних режимів роботи електромобілів у типових мережах**

Вирівнювання ГЕН споживачів електричних мереж за рахунок використання електромобілів принципово є аналогічним до загальносистемного (ГАЕС), проте в кожному окремому випадку слід визначитися зі структурою побудови та потужністю маневреного потенційного джерела.

Найбільш точним способом визначення потужності маневреного джерела є використання реальних даних з електроспоживання, що дозволить розробити шаблон використання електромобілів у конкретному випадку характерного режиму навантаження підстанції.

За умови широкого впровадження електромобілів та стійкого використання технології V2G слід враховувати при проектуванні електричної мережі даний альтернативний компенсатор активного навантаження.

Найбільш потенційними місцями для розташування станцій заряду-розряду у містах є прибудинкові автостоянки житлових районів або універсамів (ТРЦ) тощо.

Таблиця 2.5

Найбільш поширені концепції взаємодії електричних автомобілів та електричної мережі

Покоління ЕА	Напрямок енергії	Взаємодія з мережею
<b>3-е покоління</b>	Двонаправлена G2V, V2L, V2H, V2G	Зменшення навантаження на будинок, Зменшення піку споживання електричної енергії, локального споживання
<b>4-е покоління</b>	Двонаправлена G2V, V2L, V2H, V2G	Допоміжні послуги (регулювання потужності резерву), розподіл мережових послуг,

*Громадські (групові) станції* заряду-розряду електромобілів актуальні у випадку використання автомобіля за своїм прямим призначенням – транспортування власника (родини) до місця роботи (ранковий пробіг) і повернення додому (вечірній пробіг) та смарт заряду-розряду батареї у період щодобового проміжку часу між експлуатацією.

Для раціонального заряду-розряду на станції кожен автовласник повинен мати відповідний шаблон використання електромобіля, де буде зарезервовано певна «технологічна» броня залишкового рівня заряду акумуляторної батареї, параметрами якої є енерговитрата на подолання відстані до основного місця призначення з урахуванням найбільш несприятливих умов. Так, у роботі [9] запропоновано шаблони режимів використання електромобіля у якості споживача-регулятора.

Розташування станції групового заряджання/розряджання електромобілів прив'язується до міської ТП-6(10)/0,4 кВ, оскільки трансформаторні підстанції знаходяться в центрі електричних навантажень споживачів, які отримують живлення від них (централізоване електропостачання), що є справедливим у випадку генерації електричної енергії в мережу (децентралізоване електропостачання), оскільки таким чином буде забезпечуватись мінімальна відстань від споживача/генератора до джерела живлення/точки віддачі потужності і відповідно мінімум втрат електричної енергії, а також показники якості електричної енергії за відхиленнями напруги.

Найбільш точним способом визначення потужності маневреного джерела є використання реальних даних з електроспоживання на шинах ТП-6(10)/0,4 кВ з урахуванням типових споживачів району міста, що розглядається, з подальшим моделюванням режиму використання електромобілів за розробленими шаблонами, визначенням їх кількості з позицій використання систем тарифікації юридичних осіб (станція групової

зарядки) з одночасним вирівнюванням ГЕН окремої ТП, що матиме ефект для енергосистеми на національному рівні.

Використання технології V2G може стати ефективним заходом для випадків зростання навантажень в електричних мережах, оскільки воно може бути компенсовано розподіленою генерацією від децентралізованих джерел (батареї електромобілів).

Режим, що має бути розглянутий та економічно обґрунтований у разі комбінованого використання електромобіля за часом орієнтовно можна розподілити наступним чином [9]:

Таблиця 2.6

Шаблон використання електромобіля на станціях-стоянках групового заряду-розряду (ЮО)

7:00 – 8:00	режим автомобіля
Ранковий пік навантажень енергосистеми	режим генератора
Денний напівпік	режим споживача
17:00 – 18:00	режим автомобіля
Вечірній пік навантажень енергосистеми	режим генератора
Нічний провал	режим споживача

Автомобілі знаходяться на громадській стоянці (паркінгу), яка може служити для прийому електроенергії і передачі її в мережу, а також для заряду електромобілів.

Переваги регулювання навантаження при такій схемі генерації є зниження навантажувальних втрат в трансформаторах і лініях електропередачі середньої і високої напруги.

З огляду на той факт, що прибудинкові ТП-6 (10) /0,4 кВ розміщуються в центрах електричних навантажень, станція заряду-розряду для задоволення оптимальних техніко-економічних показників роботи повинна розміщуватися максимально близько до трансформаторної підстанції, що сприятиме мінімізації втрат електричної енергії в живлячих кабелях, задовільним показниками якості електричної енергії за критерієм відхилення напруги, а також мінімальним капіталовкладенням в систему зовнішнього електропостачання об'єкта. Використання станції та її потужність на етапі

розвитку альтернативних активних компенсаторів обмежується маневреною частиною ГЕН ТП, з урахуванням рівномірного заряджання батарей електромобілів в періоди нічного провалу.

Мета регулювання – оцінити потенціал зниження втрат в трансформаторах підстанцій за рахунок вирівнювання ГЕН споживачів за допомогою електромобілів.

Зважаючи на вище наведені викладки, виконаємо моделювання реалізації технології V2G/G2V для типового житлового району міської забудови (ТП, що живить район з багатоповерховими будинками з газовими плитами) з оцінкою впливу електромобілів на режим роботи мережі та зміну показників ГЕН.

Допущення:

- моделювання проводиться для однакових електромобілів типу Nissan Leaf:

- електромобілі мають однаковий типовий шаблон використання, наведений у таблиці 2.8;

- використання електромобіля у якості активного споживача-регулятора-генератора проходить в режимі заряджання/розряджання трифазною станцією (за основу взято потужність трифазну потужність 11 кВт) з метою зниження негативного впливу на прискорену деградацію тягової батареї;

Обмеження:

- при моделюванні визначається ефективна кількість електромобілів для покриття маневреної частини типового ГЕН з прив'язкою до можливих варіантів потужності трансформторів живлячої підстанції (250, 400, 630, 1000 кВА);

- основна мета регулювання – рівномірний ГЕН ТП, що обслуговує типовий район зі споживачами (багатоповерхові забудови до 10-ти поверхів) та оцінка динаміки втрат електричної енергії в трансформаторах.

Результати моделювання щодо вирівнювання ГЕН типових споживачів представлено в таблицях 2.7 та на рисунках 2.4-2.5.

Таблиця 2.7

Моделювання використання електромобіля на станціях-стоянках  
групового заряду-розряду (житловий район Тип 1)

Об'єкт	Години доби / Електричне навантаження відносно максимального, %											
	0-1:00	1:00-2:00	2:00-3:00	3:00-4:00	4:00-5:00	5:00-6:00	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00
ТП-10/0,4, (живить житлові будинки з газовими плитами)	46	30	28	25	25	25	32	40	35	30	32	35
Генерація ЕМ, %												
Споживання ЕМ %	8	24	26	29	29	29	22					
2х250 кВА (Кз=0,7)												
Нем (11 кВт)	3	8	8	9	9	9	7					
Р, кВт	30	86	93	103	103	103	79	8				
2х400 кВА (Кз=0,7)												
Нем (11 кВт)	4	12	13	15	15	15	11					
Р, кВт	47	137	148	165	165	165	126	13				
2х630 кВА (Кз=0,7)												
Нем (11 кВт)	7	20	21	24	24	24	18					
Р, кВт	74	216	233	260	260	260	198	21				
2х1000 кВА (Кз=0,7)												
Нем (11 кВт)	11	31	34	37	37	37	29					
Р, кВт	118	342	370	412	412	412	314	33				
Показники результуючого ГЕН ТП- 10/0,4, за умови використання електромобілів	54	54	54	54	54	54	54	40	35	30	32	35



## Продовження таблиці 2.7

Об'єкт	Години доби / Електричне навантаження відносно максимального, %											
	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00	22:00-23:00	23:00-24:00
ТП-10/0,4, (живить житлові будинки з газовими плитами)	32	30	30	30	39	48	69	90	95	100	81	62
Генерація ЕМ, %							-15	-36	-41	-46	-27	-8
Споживання ЕМ %												
2х250 кВА (Кз=0,7)												
Нем (11 кВт)							5	11	13	14	8	2
Р, кВт						8	-51	-124	-142	-159	-93	-26
2х400 кВА (Кз=0,7)												
Нем (11 кВт)							7	18	21	23	14	4
Р, кВт						13	-82	-199	-227	-255	-149	-42
2х630 кВА (Кз=0,7)												
Нем (11 кВт)							12	29	33	37	21	6
Р, кВт						21	-128	-314	-358	-402	-234	-67
2х1000 кВА (Кз=0,7)												
Нем (11 кВт)							19	45	52	58	34	10
Р, кВт						33	-204	-498	-568	-638	-372	-106
Показники результуючого ГЕН ТП-10/0,4, за умови використання електромобілів	32	30	30	30	39	48	54	54	54	54	54	54

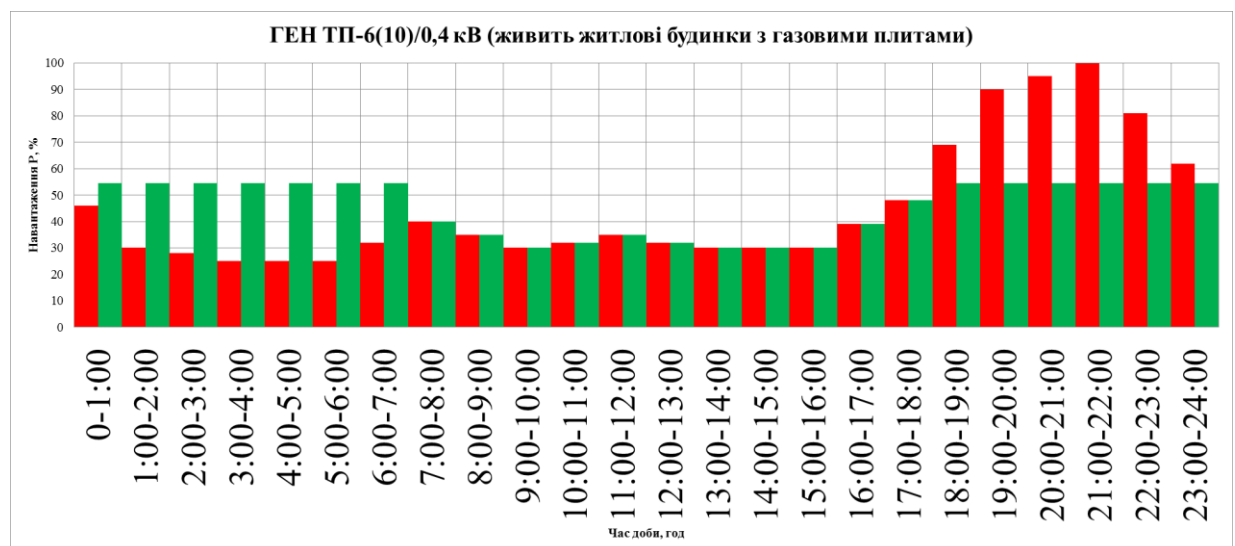


Рисунок 2.4 – Порівняльний ГЕН ТП-6(10)/0,4 кВ для житлового району (Тип1) міста із забудовою до 10 поверхів («червоний» - вихідний ГЕН; «зелений» - при використанні електромобілів)

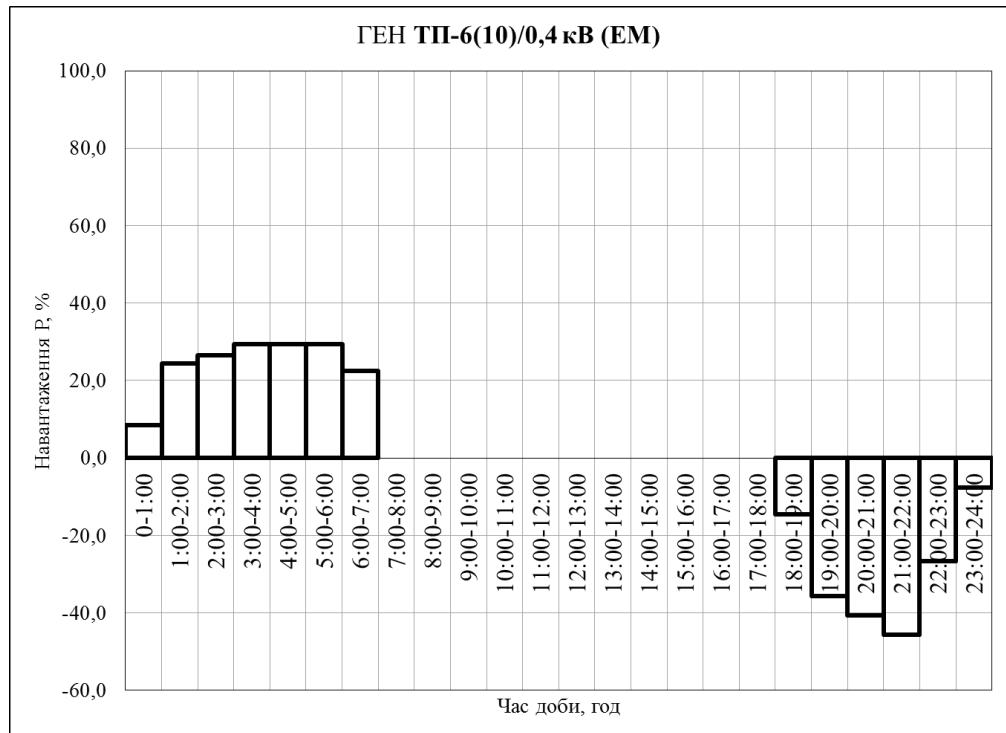


Рисунок 2.5 – Режим використання електромобіля у якості активного споживача-регулятора (Тип 1)

Таблиця 2.8

Порівняння показників ГЕН з урахуванням розроблених заходів

Житловий район Тип 1						
	К <sub>нр</sub>	Т <sub>м</sub> , год	Р <sub>с</sub> , в.о.	Р <sub>ск</sub> , в.о.	К <sub>зг</sub>	К <sub>м</sub>
Без урахування електромобілів	0,25	3975,8	0,454	0,510	0,454	2,20
З урахуванням електромобілів	0,55	7303	0,45	0,47	0,83	1,2

## 2.7 Дослідження динаміки зміни втрат електричної енергії при використанні електромобілів для вирівнювання ГЕН

Змодельовані графіки електричних навантажень та положення п. 2.1-2.2 щодо визначення втрат електричної енергії за методом інтегрування добового ГЕН дозволяють виконати оцінку відповідних втрат електричної енергії в силових трансформаторах ТП, що розглядаються, потужністю від 250 кВА до 1600 кВА.

Зважаючи на те, що втрати в трансформаторах є постійні (втрати холостого ходу) та змінні, що залежать від їх режиму роботи (втрати в обмотках), то наведемо у таблиці 2.9 паспортні втрати для трансформаторів типу ТМ-250(1600)/6-10/0,4 з діапазоном потужностей, що розглядається.

Таблиця 2.9

Технічні характеристики трансформаторів типу ТМ

Серія	Позначення типорозміру	Номинальна потужність трансформатора $S_{ном.т}$ , кВ·А	Втрати	
			$P_{хх}$ , кВт	$P_{кз}$ , кВт
ТМ	ТМ-100	100	0,305	1,97
	ТМ-160	160	0,41	2,65
	ТМ-250	250	0,55	3,7
	ТМ-400	400	0,83	5,5
	ТМ-630	630	1,05	7,6
	ТМ-1000	1000	1,55	10,8
	ТМ-1600	1600	2,05	16
	ТМ-2500	2500	3,35	26,3

Враховуючи технічні характеристики трансформаторів, знайдемо відповідну динаміку зміни втрат електричної енергії для типового району міста зі звичайним та регульованим ГЕН. Дані розрахунків вносимо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10

Динаміка зміни втрат електричної енергії в трансформаторах протягом доби  
без регулювання ГЕН

Вихідний ГЕН	0-1:00	1:00-2:00	2:00-3:00	3:00-4:00	4:00-5:00	5:00-6:00	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00
ТП 2х250, кВА (1Т)	80,5	52,5	49,0	43,8	43,8	43,8	56,0	70,0	61,3	52,5	56,0	61,3
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	1,867	1,426	1,384	1,327	1,327	1,327	1,471	1,680	1,544	1,426	1,471	1,544
ТП 2х400, кВА (1Т)	128,8	84,0	78,4	70,0	70,0	70,0	89,6	112,0	98,0	84,0	89,6	98,0
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	2,801	2,145	2,083	1,997	1,997	1,997	2,212	2,522	2,320	2,145	2,212	2,320
ТП 2х630, кВА (1Т)	202,9	132,3	123,5	110,3	110,3	110,3	141,1	176,4	154,4	132,3	141,1	154,4
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	3,68	2,77	2,68	2,57	2,57	2,57	2,86	3,29	3,01	2,77	2,86	3,01
ТП 2х1000, кВА (1Т)	322,0	210,0	196,0	175,0	175,0	175,0	224,0	280,0	245,0	210,0	224,0	245,0
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	5,3	4,1	3,9	3,8	3,8	3,8	4,2	4,8	4,4	4,1	4,2	4,4
ТП 2х1600, кВА (1Т)	515,2	336,0	313,6	280,0	280,0	280,0	358,4	448,0	392,0	336,0	358,4	392,0
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	7,4	5,5	5,3	5,1	5,1	5,1	5,7	6,6	6,0	5,5	5,7	6,0

Продовження таблиці 2.10

Вихідний ГЕН	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00	22:00-23:00	23:00-24:00
ТП 2х250, кВА, (1Т)	56,0	52,5	52,5	52,5	68,3	84,0	120,8	157,5	166,3	175,0	141,8	108,5
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	1,471	1,426	1,426	1,426	1,652	1,935	2,826	4,037	4,372	4,726	3,479	2,494
ТП 2х400 кВА, (1Т)	89,6	84,0	84,0	84,0	109,2	134,4	193,2	252,0	266,0	280,0	226,8	173,6
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	2,212	2,145	2,145	2,145	2,480	2,902	4,226	6,026	6,524	7,050	5,196	3,732
ТП 2х630, кВА, (1Т)	141,1	132,3	132,3	132,3	172,0	211,7	304,3	396,9	419,0	441,0	357,2	273,4
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	2,86	2,77	2,77	2,77	3,23	3,82	5,65	8,13	8,82	9,55	6,99	4,96
ТП 2х1000, кВА, (1Т)	224,0	210,0	210,0	210,0	273,0	336,0	483,0	630,0	665,0	700,0	567,0	434,0
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	4,2	4,1	4,1	4,1	4,7	5,5	8,1	11,7	12,7	13,7	10,0	7,2
ТП 2х1600 кВА, (1Т)	358,4	336,0	336,0	336,0	436,8	537,6	772,8	1008,0	1064,0	1120,0	907,2	694,4
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтГод	5,7	5,5	5,5	5,5	6,5	7,7	11,6	16,8	18,3	19,8	14,4	12,4

Таблиця 2.11

Динаміка зміни втрат електричної енергії в трансформаторах протягом доби з регулюванням ГЕН

Вихідний ГЕН	0-1:00	1:00-2:00	2:00-3:00	3:00-4:00	4:00-5:00	5:00-6:00	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00
ТП 2х250, кВА (1Т)	95,3	95,3	95,3	95,3	95,3	95,3	95,3	70,0	61,3	52,5	56,0	61,3
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	1,680	1,544	1,426	1,471	1,544
ТП 2х400, кВА (1Т)	152	152	152	152	152	152	152	112	98	84	90	98
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	2,52	2,32	2,15	2,21	2,32
ТП 2х630, кВА (1Т)	240	240	240	240	240	240	240	176	154	132	141	154
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	3,29	3,01	2,77	2,86	3,01
ТП 2х1000, кВА (1Т)	381	381	381	381	381	381	381	280	245	210	224	245
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	6,24	6,24	6,24	6,24	6,24	6,24	6,24	4,79	4,40	4,05	4,18	4,40
ТП 2х1600, кВА (1Т)	610	610	610	610	610	610	610	448	392	336	358	392
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	6,61	6,02	5,51	5,71	6,02

Продовження таблиці 2.11

Вихідний ГЕН	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00	22:00-23:00	23:00-24:00
ТП 2х250, кВА, (1Т)	56,0	52,5	52,5	52,5	68,3	84,0	95,3	95,3	95,3	95,3	95,3	95,3
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	1,471	1,426	1,426	1,426	1,652	1,935	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174
ТП 2х400 кВА, (1Т)	90	84	84	84	109	134	152	152	152	152	152	152
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	2,21	2,15	2,15	2,15	2,48	2,90	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
ТП 2х630, кВА, (1Т)	141	132	132	132	172	212	240	240	240	240	240	240
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	2,86	2,77	2,77	2,77	3,23	3,82	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31
ТП 2х1000, кВА, (1Т)	224	210	210	210	273	336	381	381	381	381	381	381
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	4,18	4,05	4,05	4,05	4,71	5,54	6,24	6,24	6,24	6,24	6,24	6,24
ТП 2х1600 кВА, (1Т)	358	336	336	336	437	538	610	610	610	610	610	610
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	5,71	5,51	5,51	5,51	6,48	7,71	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75

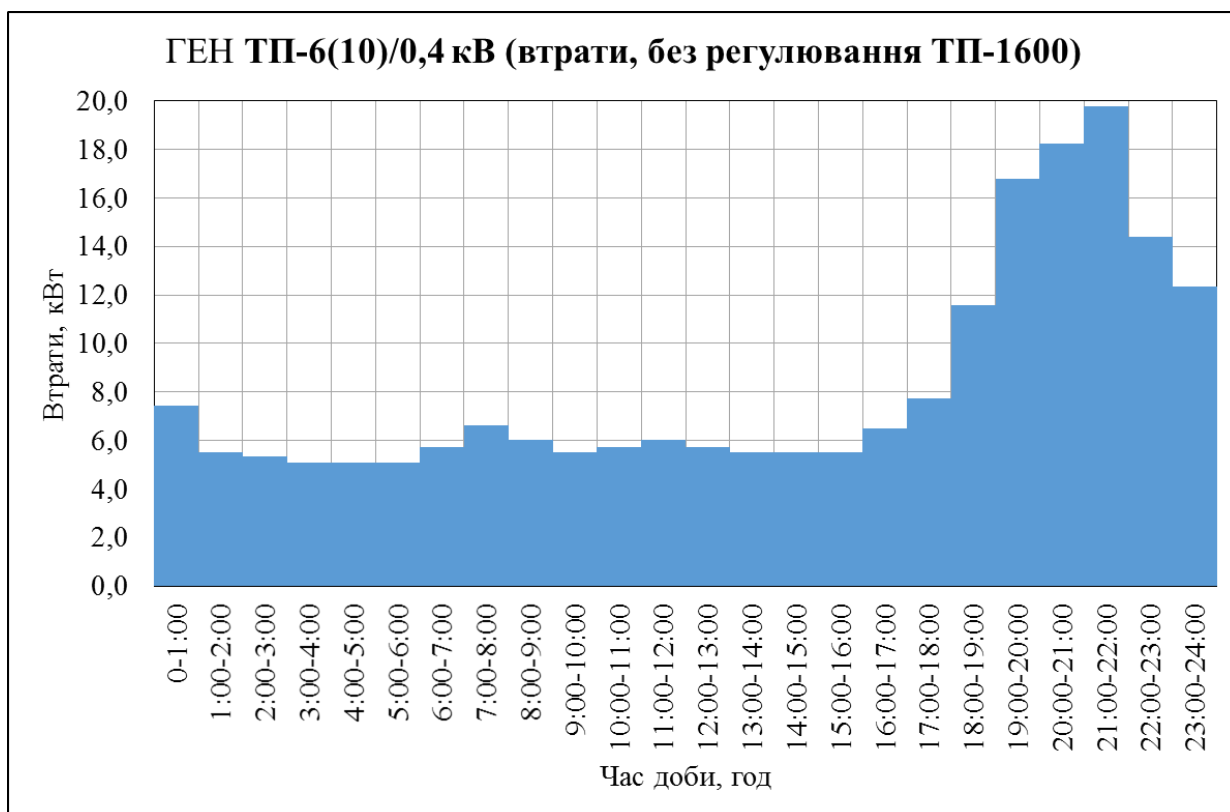


Рисунок 2.6 – Графік зміни втрат електричної енергії в трансформаторах без регулювання навантаження

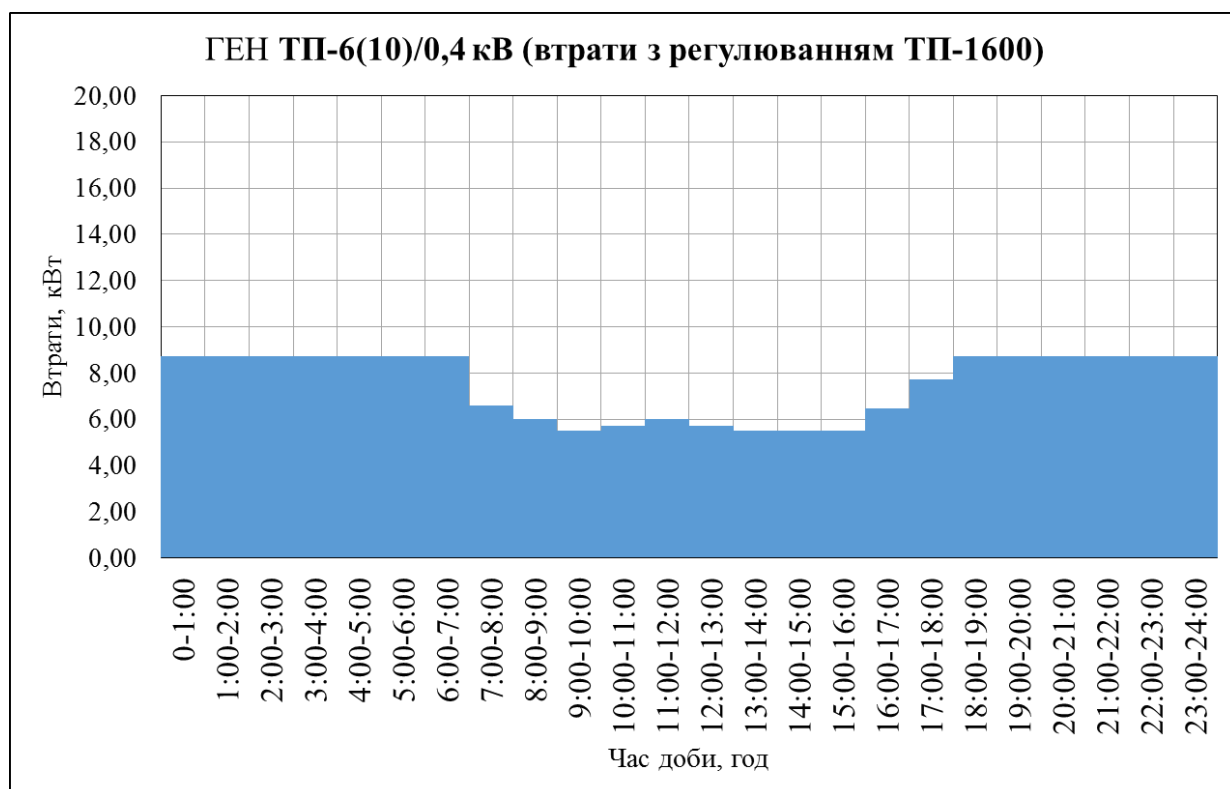


Рисунок 2.7 – Графік зміни втрат електричної енергії в трансформаторах при регулюванні навантаження за допомогою електромобілів

Таблиця 2.12

Добові та річні втрати електричної енергії в трансформаторах без регулювання ГЕН

	Добові втрати активної енергії $\Delta W_{\text{акт.доб}}$ , кВтгод	$T_m$ , год	$\tau_{\text{нб}}$ , год	Річні страти активної енергії $\Delta W_{\text{акт.р}}$ , кВтгод	Втрати електричної енергії $\Delta W_{\text{акт}}$ , %
ТП 2х250	1905,8	3975	2382		2,57
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	49,1			17909,5	
ТП 2х400	3049,2	3975	2382		2,41
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	73,5			26840,1	
ТП 2х630	4802,5	3975	2382		2,02
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	97,0			35390,3	
ТП 2х1000	7623,0	3975	2382		1,84
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	140,6			51305,8	
ТП 2х1600	12196,8	3975	2382		1,63
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	198,6			72506,9	

Таблиця 2.13

Добові та річні втрати електричної енергії в трансформаторах з регулюванням ГЕН

	Добові втрати активної енергії $\Delta W_{\text{акт.доб}}$ , кВтгод	$T_m$ , год	$\tau_{\text{нб}}$ , год	Річні страти активної енергії $\Delta W_{\text{акт.р}}$ , кВтгод	Втрати електричної енергії $\Delta W_{\text{акт}}$ , %
ТП 2х250	1905,1	7300	6388		2,38
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	45,3			16524,0	
ТП 2х400	3048,2	7300	6388		2,23
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	67,9			24780,5	
ТП 2х630	4801,0	7300	6388		1,86
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	89,2			32544,3	
ТП 2х1000	7620,6	7300	6388		1,70
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	129,5			47261,5	
ТП 2х1600	12192,9	7300	6388		1,48
$\Delta W_{\text{акт}}$ , кВтгод	180,0			65701,9	

Таблиця 2.14

Порівняльна таблиця річних втрат електричної енергії в трансформаторах без регулювання ГЕН (1) та з регулюванням (2)

ТП	$\Delta W_{\text{акт.р1}}$ , кВтгод	$\Delta W_{\text{акт.р2}}$ , кВтгод	$\Delta W_{\text{акт.р1-2}}$ , кВтгод	$\Delta W_{\text{акт.р1-2}}$ , %
ТП 2х250 кВА	17909,5	16524,0	1385,5	7,74
ТП 2х400 кВА	26840,1	24780,5	2059,6	7,67
ТП 2х630 кВА	35390,3	32544,3	2846,0	8,04
ТП 2х1000 кВА	51305,8	47261,5	4044,3	7,88
ТП 2х1600 кВА	72506,9	65701,9	6805,0	9,39

Таким чином, з наведених розрахунків видно, що вирівнювання ГЕН за допомогою електромобілів сприяє зниженню втрат електричної енергії в живильних трансформаторах в межах 8-10 %. Додатковий ефект полягає у зниженні пикового навантаження в 1,8 раз, що надає можливість врахувати даний факт при виборі оптимальної потужності трансформаторів електричних мереж на 1 типорозмір менший, ніж при класичному підході у виборі номінальної потужності трансформаторного устаткування.

Проаналізуємо динаміку зміни втрат електричної енергії при регулюванні ГЕН за допомогою електромобілів та застосуванні трансформатора меншого типорозміру (250 замість 400 кВА, 400/630, 630/1000, 1000/1600 кВА). Враховуємо, що завантаження трансформатора меншого типорозміру зміниться пропорційно відношенню номінальних потужностей трансформаторів, що складе близько 1,6, враховуючи крок дискретизації потужностей стандартного номенклатурного ряду трансформаторного устаткування.



Таблиця 2.15

Динаміка зміни втрат електричної енергії в трансформаторах протягом доби з регулюванням ГЕН та застосуванні трансформаторів на ступінь меншого типорозміру

Суміжні типорозміри	0-1:00	1:00-2:00	2:00-3:00	3:00-4:00	4:00-5:00	5:00-6:00	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00
ТП 2х400 на ТП 2х250	152,4	152,4	152,4	152,4	152,4	152,4	152,4	112,0	98,0	84,0	89,6	98,0
ΔWакт, кВтгод	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	2,59	2,24	1,94	2,05	2,24
ТП 2х630 на ТП 2х400	240,06	240,06	240,06	240,06	240,06	240,06	240,06	176,40	154,35	132,30	141,12	154,35
ΔWакт, кВтгод	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	3,80	3,30	2,86	3,03	3,30
ТП 2х1000 на ТП 2х630	381,05	381,05	381,05	381,05	381,05	381,05	381,05	280,00	245,00	210,00	224,00	245,00
ΔWакт, кВтгод	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	5,10	4,40	3,79	4,02	4,40
ТП 2х1600 на ТП 2х1000	609,67	609,67	609,67	609,67	609,67	609,67	609,67	448,00	392,00	336,00	358,40	392,00
ΔWакт, кВтгод	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	7,44	6,42	5,54	5,87	6,42

Суміжні типорозміри	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00	22:00-23:00	23:00-24:00
ТП 2х400 на ТП 2х250	89,6	84,0	84,0	84,0	109,2	134,4	152,4	152,4	152,4	152,4	152,4	152,4
ΔWакт, кВтгод	2,05	1,94	1,94	1,94	2,51	3,24	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
ТП 2х630 на ТП 2х400	141,12	132,30	132,30	132,30	171,99	211,68	240,06	240,06	240,06	240,06	240,06	240,06
ΔWакт, кВтгод	3,03	2,86	2,86	2,86	3,69	4,74	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62
ТП 2х1000 на ТП 2х630	224,00	210,00	210,00	210,00	273,00	336,00	381,05	381,05	381,05	381,05	381,05	381,05
ΔWакт, кВтгод	4,02	3,79	3,79	3,79	4,95	6,42	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66
ТП 2х1600 на ТП 2х1000	358,40	336,00	336,00	336,00	436,80	537,60	609,67	609,67	609,67	609,67	609,67	609,67
ΔWакт, кВтгод	5,87	5,54	5,54	5,54	7,22	9,34	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13

Таблиця 2.14

Порівняльна таблиця річних втрат електричної енергії в трансформаторах суміжних типорозмірів

	Заміна Т2 на Т1 (вихідний ГЕН – без регулювання)		Заміна Т2 на Т1 (вихідний ГЕН – з регулюванням)	
	ΔWакт.р.Т2-Т1, кВтгод	Вартість втрат, тис. грн/рік	ΔWакт.р.Т2-Т1. ЕМ, кВтгод	Вартість втрат, тис. грн/рік
400/250	-429	-0,78	-2489	-4,50
630/400	-4550	-8,24	-7396	-13,39
1000/630	-2737	-4,95	-6782	-12,27
1600/1000	-6119	-11,08	-12924	-23,39

Вартість втрат електричної енергії прийнята за середнім показником для їх закупівлі на ринку електричної енергії на рівні 1,81 грн/кВт·год.

Таким чином, бачимо, що за вартістю втрат електричної енергії прийняття трансформаторів меншого типорозміру викликає від'ємне значення різниці, оскільки страти підвищуються за рахунок навантажувальної їх складової. Проте слід додатково порівняти вартість суміжних типорозмірів трансформаторів і потім зробити остаточні висновки, через скільки років за вартістю втрат капіталовкладення стануть рівними.

### **Висновки по розділу**

Проаналізовано потенціал вирівнювання добового графіка електричних навантажень типового району споживачів міських електричних мереж з позицій зниження втрат електричної енергії при регулюванні ГЕН зі сторони 0,4 кВ.

Встановлено в результаті моделювання та проведених розрахунків режимів використання електромобілів за смарт-технологіями V2G/G2V доведено можливість знизити розрахунковий максимум навантаження електромережі на 45%, або в 1,8 рази, що створює передумови до ефективного вибору устаткування мереж та його подальшого використання у відповідності до номінальних параметрів.

Отримані результати представляють наукову новизну, оскільки використання запропонованих принципів дозволяє знизити втрати електричної енергії в електричних мережах на 7-10 % у порівнянні з існуючими, підвищити пропускну спроможність електричних мереж у випадку, що розглядається на 45 %, що сприятиме зниженню капіталовкладень в електрообладнання мереж.

### 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ЕФЕКТИВНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

#### 3.1 Визначення економічного потенціалу вирівнювання ГЕН з позицій зменшення витрати вугілля на ТЕС

В результаті виконання моделювання графіків електричних навантажень для типових споживачів міських електричних мереж доведено, що значення числа годин використання максимального навантаження може бути підвищеним від 4000 год до 7300 год. Розглянемо потенційний ефект зниження витрати палива на теплових електростанціях за рахунок зменшення глибини роботи енергоблоків в маневрених режимах.

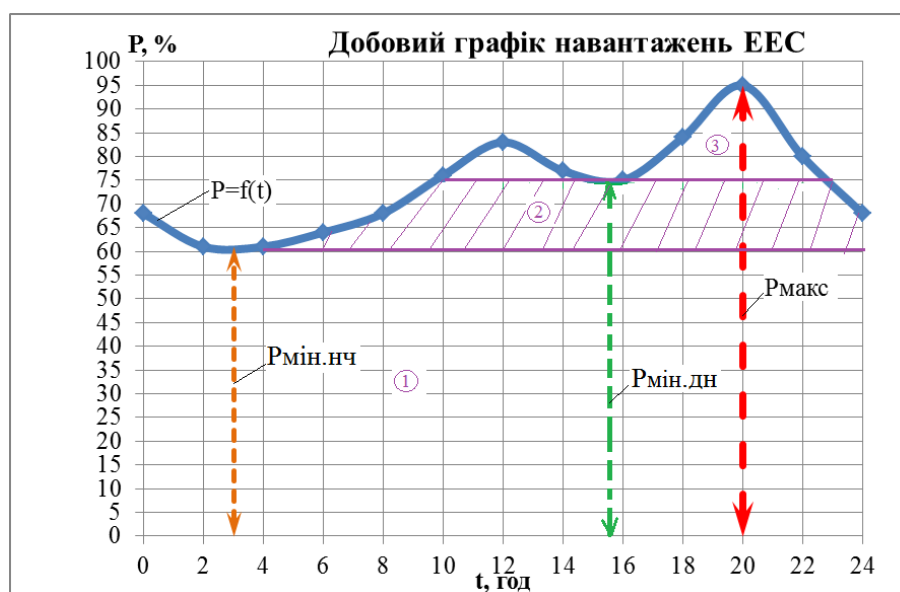


Рисунок 3.1 – Схематичний пояснювальний добовий графік ЕЕС

Добовий графік навантажень ЕЕС має, як правило, два явно виражених піка – ранковий та вечірній. Між ними знаходиться зона відносно зниженого навантаження (напівпик). Глибоке зниження навантаження (так званий нічний провал) спостерігається, звичайно, вночі тривалістю 6-8 годин.

У добовому ГЕН ЕЕС (рис. 3.1) слід виділяти базову частину, поз.1, яка обмежена мінімальним нічним навантаженням  $P_{\min.\text{нч}}$  (забезпечується АЕС), та змінну (забезпечується ТЕС ГК, ГЕС, ГАЕС). В свою чергу змінна частина поділяється на півпікову, поз. 2, між мінімальним нічним і мінімальним денним  $P_{\min.\text{дн}}$  навантаженнями, і пікову, поз. 3, між мінімальним денним  $P_{\min.\text{дн}}$  і максимальним  $P_{\max}$  навантаженнями.

Нерівномірність ГЕН ЕЕС прийнято характеризувати коефіцієнтом нерівномірності  $K_{\text{нер}}$

$$K_{\text{нер}} = P_{\min.\text{нч}} / P_{\max}.$$

Цей коефіцієнт відображає економічність вироблення ЕЕ на станціях ЕЕС. Усі зусилля ЕЕС спрямовані на доведення  $K_{\text{нер}}$  як можна ближче до одиниці.

Для характеристики добових ГЕН використовується також коефіцієнт заповнення ГЕН  $K_{з.г} = P_{\text{ср}} / P_{\max}$ , рівний відношенню середньодобового навантаження до максимального і річна кількість годин максимального навантаження

$$T_M = W_{\text{річ}} / P_{\max},$$

де  $W_{\text{річ}}$  – річне вироблення електроенергії.

Проаналізуємо як змінюються витрати на вироблення 1 кВт·год ЕЕ на ТЕС в залежності від кількості годин використання встановленої потужності  $P_o$  (для спрощення аналізу  $P_o$  приймається рівною  $P_{\max}$ ).

Нерівномірність споживання ЕЕ приведе до збільшення витрат на її вироблення.

Витрати палива для генерації електроенергії залежать від багатьох складових, а також від коефіцієнту заповнення графіка  $K_{зг}$  або  $T_{\max}$ .

Питомі витрати палива на виробку 1 кВт·год електроенергії:

$$g_{0y.n} = \frac{g_{0m}}{\eta_{e.n.}/100} + \frac{230}{T_M}, \text{ кг/кВт·год}$$

Теоретична витрата палива на вироблення 1 кВт·г електроенергії

$$g_{0.m} = \frac{Q_{0n}}{Q_{0y.n.}} = \frac{3,6}{29,3} = 0,123 \text{ кг/кВт·год}$$

де  $Q_{0n}$  – вміст теоретичної теплоти в одиниці електроенергії, складає 1 кВт·год=3,6 МДж;

$Q_{0y.n.}$  – питома теплота згорання умовного палива 29,3 МДж/кг.

$\eta_{e.n.} = \eta_{ka} - b \cdot A_e$  - коефіцієнт використання палива, %

$\eta_{ka}$  - ККД котлоагрегату, % (30-40%);

$b$  – коефіцієнт технічного стану котла (0,2-0,3);

$A_e$  – зольність вугілля (20, 30, 35, 40%)

Паливна складова вартості 1 кВт·год електричної енергії знаходиться за виразом:

$$Z_{r0} = g_{0y.n} \cdot C_{0.n} \cdot 10^{-3}, \text{ грн/кВт·год}$$

де  $C_{0.n}$  - питома вартість палива, грн/т

Визначимо зниження витрат (економічний ефект) для ТЕС України при збільшенні кількості годин використання максимуму навантажень від  $T_M = 4000$  год на рік до  $T_M = 7300$  год на рік за рахунок більш рівномірного завантаження енергетичного обладнання як наслідок вирівнювання ГЕН

споживачів. Визначити паливну складову у собівартості вироблення 1 кВт·год ЕЕ.

Річне вироблення ЕЕ ТЕС України склало за минулий рік  $W \approx 45$  млрд кВт·год, середня ставка відпускнуго тарифу для енергогенеруючих підприємств (ТЕС) на ОРЕ  $C_W = 2,94$  грн/кВт·год. Зольність вугілля – 30 %, ККД котла – 40 %, технічний стан котла  $b=0,3$ , питома вартість палива – 2800 грн/т

Питомі витрати палива на вироблення 1 кВт·г електроенергії:

$$g_{0y.n1} = \frac{g_{0m}}{\eta_{e.n.}/100} + \frac{230}{T_{M1}} = \frac{0,123}{31/100} + \frac{230}{4000} = 0,454 \text{ кг/кВт·г}$$

$$g_{0y.n2} = \frac{g_{0m}}{\eta_{e.n.}/100} + \frac{230}{T_{M2}} = \frac{0,123}{31/100} + \frac{230}{7300} = 0,428 \text{ кг/кВт·г}$$

де теоретична витрата палива на вироблення 1 кВт·г електроенергії

$$g_{0.n} = \frac{Q_{0n}}{Q_{0y.n.}} = \frac{3,6}{29,3} = 0,123 \text{ кг/кВт·г}$$

$\eta_{e.n.} = \eta_{ka} - b \cdot A_g = 40 - 0,3 \cdot 30 = 31\%$  - коефіцієнт використання палива, %

$\eta_{ka}$  - ККД котлоагрегату, % (30-40%);

$b$  – коефіцієнт технічного стану котла (прийнято 0,3);

$A_g$  – зольність вугілля, 30%

Паливна складова вартості 1 кВт·год електричної енергії знаходиться за виразом:

$$z_{r0.1} = g_{0y.n1} \cdot C_{0.n} \cdot 10^{-3} = 0,454 \cdot 2800 \cdot 10^{-3} = 1,271 \text{ грн/кВт·год}$$

$$z_{r0.2} = g_{0y.n2} \cdot C_{0.n} \cdot 10^{-3} = 0,428 \cdot 2800 \cdot 10^{-3} = 1,198 \text{ грн/кВт·год}$$

Зниження витрат (економічний ефект) для ТЕС України при збільшенні кількості годин використання максимуму навантажень

$$\Delta Z^* = Z_{T0.1} - Z_{T0.2} = 1,217 - 1,198 = 0,019 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$$

$$\Delta Z = K_{\text{непр}} \Delta Z^* W_{\Sigma} = 0,5 \cdot 0,019 \cdot 45 \cdot 10^9 = 427,5 \text{ млн.грн}$$

де  $K_{\text{непр}} = 0,5$  – коефіцієнт, що враховує частку непромислових споживачів (населення, комунально-побутові об'єкти), які мають потенціал щодо вирівнювання ГЕН.

Ефект отриманий без урахування, витрат пов'язаних з пуском, зупинками і утриманням у гарячому резерві енергообладнання, задіяного для роботи системи у змінній частині добового ГЕН.

### **3.2 Економічний ефект впливу показників ГЕН на доцільність типорозмірної оптимізації силових трансформаторів**

Аналіз економічного ефекту від реалізації заходів з підвищення ефективності використання навантажувальної здатності трансформаторів доцільно виконати для випадку рекомендації застосування трансформатора на 1 ступінь меншої потужності для трансформаторів суміжних типорозмірів типу ТМ.

Для таких випадків, наприклад, при обґрунтуванні встановлення трансформаторів на ступінь меншого типорозміру, ніж встановлений, економічний ефект може бути отриманий шляхом зіставлення вартості втрат електричної енергії в конструктивних елементах трансформаторів суміжних типорозмірів, а також різниці вартості самих трансформаторів.

Ефективність використання навантажувальної здатності доцільно аналізувати в залежності від коефіцієнту завантаження трансформатора. Зважаючи на той факт, що розглянуті підстанції РЕМ 35/10 кВ є переважно двотрансформаторними, то слід враховувати, що для забезпечення живлення

споживачів у післяаварійному режимі, у номінальному режимі середньоквадратичне значення завантаження трансформатора повинно становити 0,7-0,8 від номінального, яке до того ж є економічно доцільним.

У табл. 3.1 приведені необхідні технічні характеристики для можливих типорозмірів трансформаторів типу ТМ-6-10 кВ.

Таблиця 3.1

## Технічні характеристики трансформаторів типу ТМ

Серія	Позначення типорозміру	Номінальна потужність трансформатора $S_{ном.т}$ , кВ·А	Втрати, Вт	
			$\Delta P_{xx}$	$\Delta P_{кз}$
ТМ 6-10 кВ	T1	250	0,55	3,7
	T2	400	0,83	5,5
	T3	630	1,05	7,6
	T4	1000	1,55	10,8
	T5	1600	2,05	16
	T6	2500	3,35	26,3

Різниця втрат потужності для суміжних типорозмірів за умови  $S_{ном.Т2} > S_{ном.Т1}$  становитиме:

- холостого ходу

$$\Delta P_{xx.2-1} = \Delta P_{xx.T2} - \Delta P_{xx.T1}, \text{ Вт}$$

- короткого замикання

$$\Delta P_{кз.2-1} = (\Delta P_{кз.2} \cdot K_{32}^2 - \Delta P_{кз.1} \cdot K_{31}^2), \text{ Вт}$$



Зниження річного споживання електричної енергії за рахунок зменшення втрат потужності в конструктивних елементах трансформатора:

$$\Delta W_{p.2-1} = (\Delta P_{xx.2-1} T_p + \Delta P_{кз.2-1} \tau_{нб}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Слід додатково враховувати, що «навантажувальні» втрати електричної енергії залежать від двох параметрів –  $K_3$  і  $T_M$  ( $\tau_{нб}$ ).

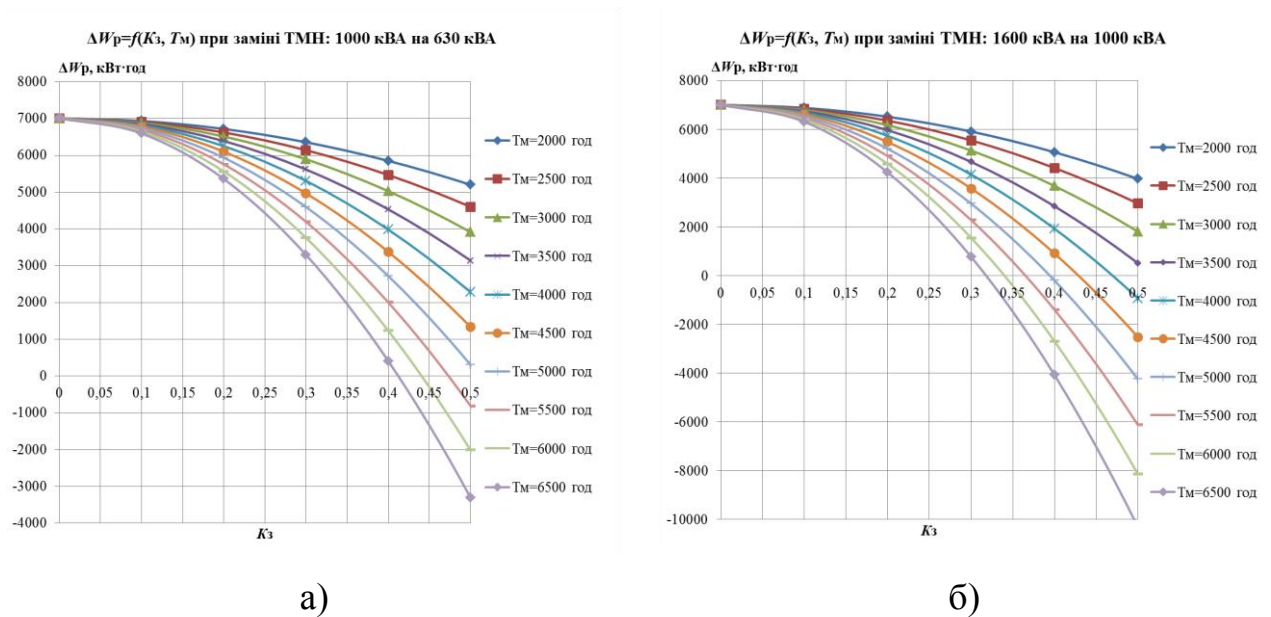


Рисунок 3.2 – Криві залежностей динаміки зміни втрат електричної енергії для трансформаторів суміжних типорозмірів при зміні параметрів ГЕН

З наведених графіків для суміжних типорозмірів трансформаторів можна попередньо визначити доцільність їх заміни та відповідну ефективність такого заходу за річними втратами електричної енергії. Від'ємні значення втрат електричної енергії свідчать про недоцільність такого заходу, але розглядати їх слід, порівнюючи з різницею у вартості трансформаторів суміжних типорозмірів. Різниця втрат електричної енергії зростає зі зростанням числа годин використання максимального навантаження, тобто при вирівнюванні графіка електричних навантажень. Мінімальна різниця при максимальному значенні  $T_M$  і  $K_3$  становить 3000-

50000 кВт·год. Для об'єктивної оцінки слід враховувати тариф на електроенергію (поточний і перспективний прогноз), вартість трансформаторів, що розглядаються при оптимізації, а також регламентований строк служби обладнання.

Приймаючи вартість закупівлі втрат електричної енергії на рівні 1,81 грн/кВт·год, можна визначити економічний ефект для підприємства за рахунок зниження втрат електричної енергії (дані беремо з таблиці 2.14).

Відзначимо, що аспект деградації АКБ електромобілів в даній роботі не розглядається, акцент зроблено на потенціал зниження втрат електричної енергії в мережах та оптимізації застосування електрообладнання мереж.

Таблиця 3.2

Зниження вартості річних втрат електричної енергії в трансформаторах за умови регулювання ГЕН

ТП	$\Delta W_{\text{акт.р1-2}}$ , кВт·год	Закупівельний тариф на втрати ЕЕ, грн/кВт·год	Зниження вартості втрат, тис. грн/рік
ТП 2х250 кВА	1385,5	1,81	2,51
ТП 2х400 кВА	2059,6		3,73
ТП 2х630 кВА	2846,0		5,15
ТП 2х1000 кВА	4044,3		7,32
ТП 2х1600 кВА	6805,0		12,32

У таблиці 3.3. наведемо результати аналогічних розрахунків з урахуванням заміни трансформаторів на ступінь меншим типорозміром

Таблиця 3.3

Зниження вартості річних втрат електричної енергії в трансформаторах за умови регулювання ГЕН та застосування меншого типорозміру

ТП	$\Delta W_{\text{акт.рТ2-Т1}}$ , кВт·год	Закупівельний тариф на втрати ЕЕ, грн/кВт·год	Зниження вартості втрат, тис. грн/рік $\Delta \text{Пакт.р.Т2-Т1}$
ТП 2х250/2х400 кВА	-429	1,81	-0,78
ТП 2х400/2х630 кВА	-4550		-8,24
ТП 2х630/2х1000 кВА	-2737		-4,95
ТП 2х1000/2х1600 кВА	-6119		-11,08

Зважаючи на той факт, що різниця вартості втрат електричної енергії є від'ємною, необхідно додатково проаналізувати економічний ефект, який досягається на різниці у вартості безпосередньо трансформаторів суміжних типорозмірів та порівняти відповідні додаткові втрати з терміном служби, протягом якого вони досягнуть рівності капіталовкладень.

Питома вартість 1 кВА трансформаторної потужності приймається на рівні 0,75 тис. грн/кВА.

Тоді, вартість кожного типорозміру складе:

Таблиця 3.4

Порівняльна таблиця капіталовкладень в обладнання та вартості втрат енергії при типорозмірній оптимізації трансформаторів

Серія	$S_{\text{ном.т}}$	Капіталовкладення в трансформатори, тис. грн (2-трансформаторна ТП)		Різниця вартості. обладн., $\Delta K_{T1-T2}$	Додаткова вартість втрат, $\Delta \text{Пакт.р.}_{T2-T1}$	Строк зрівняння вартості втрат і вартості. обладн.
	кВА	Варіант 1 T2	Варіант 2 T1	тис. грн	кВт·год/рік	рік
ТМ	250	375	240	135	-0,78	173
	400	600	375	225	-8,24	27
	630	945	600	345	-4,95	69,7
	1000	1500	945	555	-11,08	50,5
	1600	2400	1500	900		

Як видно з проведених розрахунків за втратами електричної енергії за умови застосування трансформаторів менших типорозмірів строки, коли плата за додаткові втрати зрівняється з початковими капіталовкладеннями складуть від 27 до 173 років, що перевищує регламентовані строки експлуатації трансформаторного обладнання. Тому типорозмірна оптимізація за умови регулювання ГЕН є доцільною.

### **Висновки по розділу**

Доведено економічний ефект від регулювання графіків електричних навантажень населення та непромислових споживачів за допомогою електромобілів за запропонованими шаблонами, який полягатиме у вирівнюванні ГЕН та зниженні його маневреної складової, за рахунок чого буде забезпечена економія палива (вугілля) на ТЕС загальною вартістю 422,5 млн. грн (потенціал економії 585 тис. тонн вугілля).

Економічний ефект, який спостерігатиметься в електричних мережах щодо зниження втрат електричної енергії при вирівнюванні ГЕН є позитивним при виконанні регулювання. Додатково виконано обґрунтування, що при застосуванні оптимального типорозміру трансформаторів економічний ефект полягає у зменшенні первинних капіталовкладень в обладнання, а підвищені втрати при цьому лише дещо знижують даний ефект, проте не нівелюють його, оскільки порівнюючи капіталовкладення і втрати на періоді регламентованої експлуатації трансформаторного обладнання, економічний ефект залишається додатнім.

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено наукову задачу, яка полягає у встановленні закономірностей динаміки зміни втрат електричної енергії в розподільчих електричних мережах за умови використання електромобілів за технологією активного споживача-регулятора, а також вилучення наявних резервів пропускної спроможності мереж і ефективного використання електрообладнання.

Проаналізовано потенціал вирівнювання добового графіка електричних навантажень типового району споживачів міських електричних мереж з позицій зниження втрат електричної енергії при регулюванні ГЕН зі сторони 0,4 кВ за допомогою електромобілів.

В результаті моделювання та проведених розрахунків режимів використання електромобілів за смарт-технологіями V2G/G2V доведено можливість знизити розрахунковий максимум навантаження електромережі на 45%, або в 1,8 рази, що створює передумови до ефективного вибору устаткування мереж та його подальшого використання у відповідності до номінальних параметрів. Отримані результати представляють наукову новизну, оскільки використання запропонованих принципів дозволяє знизити втрати електричної енергії в електричних мережах на 7-10 % у порівнянні з існуючими, підвищити пропускну спроможність електричних мереж у випадку, що розглядається на 45 %, що сприятиме зниженню капіталовкладень в електрообладнання мереж.

Доведено економічний ефект від регулювання графіків електричних навантажень населення та непромислових споживачів за допомогою електромобілів за запропонованими шаблонами, який полягатиме у вирівнюванні ГЕН та зниженні його маневреної складової, за рахунок чого буде забезпечена економія палива (вугілля) на ТЕС загальною вартістю 422,5 млн. грн (близько 585 тис. тонн економії вугілля).

Економічний ефект, який спостерігатиметься в електричних мережах щодо зниження втрат електричної енергії при вирівнюванні ГЕН є

позитивним при виконанні регулювання. Додатково виконано обґрунтування, що при застосуванні оптимального типорозміру трансформаторів економічний ефект полягає у зменшенні первинних капіталовкладень в обладнання, а підвищені втрати при цьому лише дещо знижують даний ефект, проте не нівелюють його, оскільки порівнюючи капіталовкладення і втрати на періоді регламентованої експлуатації трансформаторного обладнання, економічний ефект залишається додатнім.

Важливо на сьогодні обґрунтовано забезпечити законодавчу базу щодо розвитку електромобілітету та інфраструктури до них, розглядаючи відразу встановлення двонаправлених станцій заряду-розряду батарей, щоб уникнути проблем зі стійкістю роботи енергосистеми, які виникли у секторі відновлюваної енергетики внаслідок неупорядкованої генерації енергії без прив'язки до попиту на неї та режимів роботи енерговузлів.

### Перелік посилань

1. Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії у зарубіжній енергетичній сфері. Київ – 03/2018. Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/1.-Stan-rozvytku-smart-grid.pdf>
2. ДП НЕК «Укренерго». ІТ-ПРОЕКТИ. Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/projects/spilni-proekty-z-mfi/#1538032249035-96c4bd2a-d9fc1cf7-ff2a>
3. Головка І., Астахова Т. Брифінг Центру екологічних ініціатив “Екодія”. Почему в Украине следует развивать децентрализованную энергетику уже сегодня? Режим доступу: <https://setech.in.ua/ru/potchemu-v-ukraine-sleduet-razvivaty-detsentralizovannuyu-nergetiku-uzhe-segodnya/>
4. ISO Standards. ICS 43.120. “Electric road vehicles”, available at: [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_ics/catalogue\\_ics\\_browse.htm?ICS1=43&ICS2=120](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_ics_browse.htm?ICS1=43&ICS2=120).
5. Hu Z., Song Y. and Xu, Z. (2014) “Hierarchical Coordinated Control Strategies for Plug-in Electric Vehicle Charging”, Plug In Electric Vehicles in Smart Grid: Charging Strategies, Chapter 3, Springer, pp.55-87.
6. Vardakas, J.S., Zorba, N., Verikoukis, C.V. (2013) “A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms”, IEEE Communication Surveys and Tutorials, pp. 1-27
7. Robinson, A.P., Blythe, P.T., Bell, M.C., Hübner, Y., Hill, G.A. (2013) “Analysis of electric vehicle driver recharging demand profiles and subsequent impacts on the carbon content of electric vehicle trips”, Energy Policy, Vol. 61, pp. 337–348.
8. Кігель Г.А., Півняк Г.Г. Електричні мережі систем електропостачання: Навчальний посібник. Видання 2-е, перероблене та доповнене. – Дніпропетровськ: ДВНЗ “Національний гірничий університет”, 2011.– 325 с.

9. Луценко І.М., Циган П.С. Технічні та економічні аспекти використання електромобілів в електричних мережах України // Вісник КрНУ. – Кременчук: 2017. – Вип. 6/2017 (107).

10. Луценко І.М. Ефективне використання вибухобезпечних підстанцій вугільних шахт. Монографія. М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 97 с.

11. Global EV Outlook (2016), “Beyond one million electric cars”, available at: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global\\_EV\\_Outlook\\_2016.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf).